

24619/H/06



SELAK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR
LL 1327

**PEMODELAN DILUSI OUTFALL PADA ALIRAN ARUS
LEMAH MENGGUNAKAN TRANSDUCER TEMPERATUR**



R. Sike
628.168
Pri
P-1
2005

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	5-8-2005
Terima Oleh	H
No. Agenda rrp.	223046

OLEH :

ESTU PRASETYO PRIBADI
NRP. 4300 100 006

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN DILUSI OUTFALL PADA ALIRAN ARUS LEMAH MENGGUNAKAN TRANSDUCER TEMPERATUR



OLEH :

ESTU PRASETYO PRIBADI

NRP : 4300 100 006

Surabaya, Agustus 2005

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing I

Dr. Ir. Mukhtasor, MEng

NIP. 132 105 583

Pembimbing II

Dr. Ir. Haryo D. Armono, MEng

NIP. 132 133 973

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, MSc

NIP. 131 417 209

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis agungkan kepada Allah SWT berkat rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan Dilusi *Outfall* Pada Aliran Arus Lemah Menggunakan Transducer Temperatur ” dengan baik.

Semua kemudahan ini juga tak lepas dari kebaikan berbagai pihak yang telah banyak membantu. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Papa dan Mama yang telah memberikan segala doa, serta semangat baik materi maupun moril.
2. Bapak Imam Rochani selaku ketua jurusan Teknik Kelautan maupun dosen wali yang selalu membimbing dan memberikan nasehat selama masa perkuliahan.
3. Bapak Mukhtasor dan Bapak Haryo D. Armono selaku dosen pembimbing yang selalu dengan sabar menyediakan waktu memberikan memberikan bimbingan dan arahan sehingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Musta'in, Bapak Wahyudi, Bapak Arief Suroso, Bapak Sujantoko dan Bapak Dzikro selaku dosen penguji.
5. Seluruh Dosen Teknik Kelautan yang telah memberikan ilmunya selama masa perkuliahan.
6. Seluruh guru SD, SLTP dan SLTA yang telah memberikan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat.
7. Staf Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Mas Arif bin Satar yang telah membantu secara teknis selama masa percobaan “poko ke beress...”..
8. Adek Jekek Risty Ayu Puspitasari “paling juuuueeeleek...”, yang telah memberikan semangat, bantuan moril dan spiritual serta motivasi sehingga mas menjadi orang yang berhasil, amin.
9. Sahabat 2001, Eko (berjuang terus, n jangan bosen nyari aku..) yang banyak meluangkan waktunya berjuang demi keberhasilan Tugas Akhir penulis.
10. Sahabat-sahabat teknik kelautan, khususnya angkatan 2000 (Totok makasih sarannya + pinjamannya, Jazil atas kameranya, Pacol yang nda pernah moncol, Catur Black selalu riang, Bang Randy Cavalera selalu Allright, Kak Sam piss yo??,

Erpan cayoo, dek Sita, Sofyan Muji, Bang Alif, Bapak Handi, Bang Jay Reza', Fajar lemu, Eko, Aris Tores, Maulid, Bang Jael, Susi, Dedy, Kusuma, Bambang, Catur Imam, Dodon, Oscar, Devy, Santi, Rury, Pras, Lilik, Indahyu, Mila serta semua teman seperjuangan lainnya yang belum sempat tertulis namanya yang telah memberikan bantuan secara moral maupun material selama ini).

11. Mas-mas dan mbak-mbak angkatan '97, '98 dan '99 (mas Bun2, Medi W, D. W Semedi, Fery, Ronny, Fuad, Yudis, Dain, Itop, Wiwit, mbak Mely, Ririn, Diana, Dyah Ririn)
12. Sahabat-sahabat kimia yang telah membantu (Diyo, Taufik, Ari, Aris, Rendra, Deni, Amir, Bang Ajay Azar, Yknee, Ajeng serta semua yang belum penulis sebutkan satu persatu) yang telah membantu dengan segala daya dan upaya, sehingga penulis lancar menyelesaikan studinya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan maka dari itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat diperlukan oleh penulis guna perbaikan skripsi ini.

Surabaya, 3 Agustus 2005

Penulis

ABSTRAK

Estu Prasetyo Pribadi

Pembimbing : Dr. Ir. Mukhtasor, MEng dan Dr. Ir. Haryo D.A, MEng

Penelitian ini dilakukan untuk membuat suatu pemodelan polutan limbah panas (*thermal discharge*) pada aliran arus lemah dari *ocean outfall* jenis *single port* menggunakan variasi sudut *port* 30°, 45° dan 60° dengan memperhatikan perubahan temperatur *exceeds* serta penghitungan besarnya nilai *initial dilution*. *Initial dilution* merupakan perbandingan dari konsentrasi polutan atau limbah yang dibuang dengan konsentrasi setelah mencapai level ketinggian tertentu terhadap *port*, yang mana dapat dimodelkan secara fisika di laboratorium. Dibandingkan dengan Lee dan Cheung (1991) yang menggunakan *outfall* mengarah vertikal, didapatkan harga *initial dilution* dengan nilai korelasi sebesar 0,9646 dan rata-rata angka perbedaan 9,28%. Berdasarkan uji t statistik diperoleh bahwa t_{hitung} sebesar -2,013 lebih kecil dari t_{tabel} sebesar 2,002, sehingga tidak ada perbedaan yang bermakna dari harga *initial dilution* kedua metode percobaan. Percobaan yang dilakukan dengan sudut 30°, 45° dan 60°, menghasilkan model persamaan empiris *initial dilution* $(SQ)/(B^{1/3} z^{5/3}) \sim (z/l_b)$ dengan konstanta dilusi berturut-turut adalah 0,0130; 0,0301; 0,0664 pada zona BDNF untuk $z/l_b < 1$ dan 0,0009; 0,0017; 0,0031 pada zona BDFF untuk $z/l_b > 1$. Dari percobaan diketahui bahwa dengan adanya inklinasi pada *port*, gerakan *plume* adalah *negative buoyant*, dan memberikan elevasi kenaikan maksimum pada gerakan *buoyant plume* yang berbeda. Elevasi maksimum terbesar terjadi pada konfigurasi *port* dengan sudut 30° terhadap arah arus. Menggunakan hubungan $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$ untuk *plume* vertikal diperoleh konstanta elevasi untuk sudut 30°, 45° dan 60° berturut-turut adalah 2,1305; 1,6224 dan 1,2181.

Kata-kata kunci : *Ocean outfall, thermal discharge, initial dilution, sudut port, elevasi plume.*

ABSTRACT

Estu Prasetyo Pribadi

Supervisor : Dr. Ir. Mukhtasor, MEng dan Dr. Ir. Haryo D.A, MEng

This is an experiment of thermal discharge pollutant model in weakly cross flow from ocean outfall with single port using port variation angles of 30°, 45° and 60° to current direction considering the exchange of excess temperature and the calculation of initial dilutions. Initial dilutions are the ratio between concentration of discharged pollutants or to that after reaching certain high level to port. This can be physically modeled on the laboratory. Compared with by Lee & Cheung (1991), outfall of vertical direction, this experiment give the initial dilution with correlation value of 0.9646 and difference approximately 9.28%. Based on t-test statistical gives that t-count (-2.013) is less from t-table (2.002) so there is no significant different of initial dilution value from both experiment methods. The experiments (for 30°, 45° and 60° angles) give an empirical equation of initial dilution constant of 0.0130; 0.0301; 0.0664, respectively on BDNF zone for $z/l_b < 1$ and 0.0009; 0.0017; 0.0031 on BDFF zone for $z/l_b > 1$. From the experiment, it is known that inclining the port, plume movement is negative buoyant and resulting in different rising of maximum elevation on different buoyant plume movement. The biggest maximum elevation occurs on port configuration with 30° angle to current direction. From the relationship of $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$ for vertical plume, the elevations constant for for 30°, 45° and 60° are 2.1305; 1.6224; 1.2181, respectively.

Keywords : *ocean outfall, thermal discharge, initial dilution, port angle, plume elevation*

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori.....	6
2.2.1 <i>Sea Outfall</i>	6
2.2.2 <i>Dilusi Ocean Outfall</i>	7
2.2.2.1 <i>Near Field</i>	7
2.2.2.2 <i>Far Field</i>	8
2.2.3 <i>Near Field Initial Dilution</i>	9
2.2.3.1 <i>Single Port Submerged Discharge</i>	12
2.2.3.2 <i>Multi Port Submerged Discharge</i>	13
2.2.4 <i>Single plume, flowing current, unstratified</i>	13

2.2.5 <i>Single plume, flowing current, stratified</i>	14
2.2.6 Pemodelan Fisik <i>Initial Dilution</i>	15
2.2.6.1 Sebangun Geometrik (<i>geometric similarity</i>).....	17
2.2.6.2 Sebangun Kinematik (<i>kinematic similarity</i>)	18
2.2.6.3 Sebangun Dinamik (<i>dynamic similarity</i>)	18
2.2.7 Analisa Dimensi	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Prosedur Umum	22
3.2. Tempat dan Waktu Pelaksanaan	25
3.3. <i>Flume Tank</i> dan Pembuat Arus	25
3.4. Desain Eksperimen dan Instrumentasi	28
3.4.1 Alat-alat dan bahan	28
3.4.2 Prosedur Percobaan <i>Initial Dilution</i>	29
3.5 Kalibrasi Termokopel	30
3.4. Metode Analisa Data Percobaan	32

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Kalibrasi Percobaan <i>Initial Dilution</i> Limbah Panas	34
4.2. Hasil Pemodelan <i>Initial Dilution</i> Limbah Panas di Laboratorium	37
4.3. Evaluasi Pengaruh Sudut <i>Port</i> terhadap Elevasi Maksimum <i>Plume</i>	40
4.4. Evaluasi Pengaruh Sudut <i>Port</i> terhadap Volume <i>Plume</i>	45
4.5. Hasil Pemodelan <i>Initial Dilution</i> Menggunakan Analisa Dimensi.....	48
4.6. Contoh Aplikasi Model	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
4.1.	Data hasil kalibrasi percobaan <i>ocean outfall</i> di laboratorium.....	35
4.2.	Data parameter kestabilan <i>discharge</i> hasil percobaan.....	38
4.3.	Nilai konstanta elevasi kenaikan <i>plume</i> pada sudut <i>port</i> 30°, 45° dan 60°	44
4.4.	Nilai konstanta volume <i>fluks</i> pada sudut <i>port</i> 30°, 45° dan 60°	47
4.5.	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> pada percobaan menggunakan variasi sudut <i>port</i> yang berbeda pada zona <i>Buoyancy Dominated Near Field</i> (BDNF)	50
4.6.	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> pada percobaan menggunakan variasi sudut <i>port</i> yang berbeda pada zona <i>Buoyancy Dominated Far Field</i> (BDFF)	50
4.7.	Aplikasi hubungan <i>initial dilution</i> dari variasi sudut <i>port</i> pada kasus Terra Nova FPSO <i>platform</i>	53

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Model <i>stabil discharge</i> pada <i>near-field</i> (Doneker, 1996).....	8
2.2	Model <i>unstabil discharge</i> pada <i>near-field</i> (Doneker, 1996).....	8
2.3	<i>Buoyant spreading process</i> pada <i>near-field</i> (Doneker, 1996).....	9
2.4	<i>Buoyant jet discharge</i> pada suatu arus (Kim & Seo, 2001).....	10
2.5	<i>Buoyant jet tunggal</i> pada kondisi arus silang dan <i>uniform</i> (Singh, 1996).....	14
2.6	<i>Buoyant jet tunggal</i> pada kondisi arus silang dan <i>non uniform</i> (Singh, 1996).....	15
3.1	Diagram alir percobaan <i>ocean outfall</i>	23
3.2	Skema kerja percobaan <i>outfall dilution</i>	25
3.3	Komputer kontrol.....	27
3.4	<i>Current generator control program</i>	28
3.5	<i>Wave Tank</i>	29
3.6	Kurva kalibrasi sensor 1.....	30
3.7	Kurva kalibrasi sensor 2.....	31
3.8	Kurva kalibrasi sensor 3.....	31
4.1	Kalibrasi <i>initial dilution</i> percobaan dengan model Lee & Cheung	36
4.2	Hasil kalibrasi pengukuran <i>temp. excess</i> percobaan	36
4.3	Percobaan dengan kestabilan <i>discharge</i> kecil.....	39
4.4	Bentuk <i>negative buoyant plume</i> dengan inklinasi <i>port</i> 60°	39
4.5	Percobaan <i>ocean outfall</i> dengan sudut <i>port</i> 30°	41
4.6	Percobaan <i>ocean outfall</i> dengan sudut <i>port</i> 45°	42
4.7	Percobaan <i>ocean outfall</i> dengan sudut <i>port</i> 60°	42
4.8	Grafik hubungan antara sudut <i>port</i> 30° terhadap elevasi kenaikan <i>plume</i> (z)	43
4.9	Grafik hubungan antara sudut <i>port</i> 45° terhadap elevasi kenaikan <i>plume</i> (z).....	42



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran
1	Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 1.
2	Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 2.
3	Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 3.
4	Pengukuran <i>Initial Dilution</i> pada titik $x_1 = 4$ cm.
5	Pengukuran <i>Initial Dilution</i> pada titik $x_2 = 20$ cm.
6	Pengukuran <i>Initial Dilution</i> pada titik $x_2 = 50$ cm.
7	Tabel sifat-sifat fisik air (Roberson dan Crowe, 1997).
8	Data percobaan lengkap untuk pemodelan <i>initial dilution</i> .
9	Data penghitungan elevasi maksimum pada gerakan <i>plume</i> .
10	Hasil perhitungan uji homogenitas dari data kalibrasi menggunakan SPSS 11 <i>software</i> .
11	Kurva kalibrasi termokopel (Sensor 1).
12	Kurva kalibrasi termokopel (Sensor 2).
13	Kurva kalibrasi termokopel (Sensor 3).
14	Data hasil kalibrasi percobaan <i>ocean outfall</i> di laboratorium.
15	Kurva kalibrasi <i>initial dilution</i> percobaan dengan model Lee & Cheung.
16	Data parameter kestabilan <i>discharge</i> hasil percobaan.
17	Grafik hubungan antara sudut <i>port</i> terhadap elevasi kenaikan <i>plume</i> (z).
18	Grafik volume fluks fungsi <i>buoyancy</i> (B) dan kedalaman <i>discharge</i> (z).
19	Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 30° , 45° dan 60° .
20	Aplikasi hubungan <i>Initial dilution</i> dari variasi sudut <i>port</i> pada kasus Terra Nova FPSO <i>platform</i> .

S	<i>initial dilution</i>
T	temperatur <i>excess</i>
T_a	temperatur <i>ambient</i>
T_d	temperatur <i>discharge</i>
T_m	skala waktu model
T_p	skala waktu prototip
u_a	kecepatan arus <i>ambient</i>
u_d	kecepatan <i>discharge</i>
U_m	skala kecepatan model
U_p	skala kecepatan prototip
V_m	skala volume model
V_p	skala volume prototip
z	kedalaman <i>discharge</i>
z_e	kenaikan maksimum dari <i>negative buoyant jet/plume</i>
ρ_a	densitas <i>ambient</i>
ρ_d	densitas <i>effluent</i>
$\Delta\rho_d$	perbedaan densitas antara <i>effluent</i> dengan <i>ambient</i>
μ	viskositas kinematik
ν	viskositas dinamik
θ	sudut <i>port</i> terhadap arah arus



BAB I

PENDAHULUAN

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan industri kelautan yang ditandai dengan semakin banyaknya pemanfaatan segala potensi sumber daya untuk mendapatkan produk-produk baik barang dan jasa memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak tersebut diantaranya berasal dari kegiatan pembuangan limbah yang masih mengandung racun, asam, logam berat, senyawa-senyawa organik dan konsentrasi limbah yang melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam “Standart Baku Mutu Limbah” ke perairan laut.

Banyak metode yang dilakukan untuk melepaskan buangan limbah ini sehingga dapat tercampur secara sufisien dengan air laut dan pada akhirnya konsentrasi dari *effluent* dapat tereduksi menjadi lebih kecil. Salah satu metode yang digunakan untuk pelepasan limbah ke perairan laut adalah metode pengukuran *dilution* atau pengenceran pada perancangan sistem *ocean outfall*.

Lee dan Cheung (1991) telah melakukan studi eksperimen untuk memodelkan proses *initial dilution* suatu *effluent* yang dibuang melalui sistem *outfall* dengan terminal pembuangan (*port*) mengarah vertikal atau tegak lurus terhadap arah arus dan menghasilkan suatu nilai konstanta *initial dilution* pada zona BDNF (*Buoyancy Dominated*

Near Field), yaitu menggunakan persamaan empiris $\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_1 \left(\frac{z}{l_b} \right)$ untuk $z/l_b \ll 1$ dan

didapatkan nilai C_1 sebesar 0,31. Sedangkan data dilusi pada zona BDFF (*Buoyancy*

Dominated Far Field), dengan $z/l_b \gg 1$, persamaan $\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_2 \left(\frac{z}{l_b} \right)$ yang diperolehnya

memiliki harga $C_2 = 0,51$. Akan tetapi hasil ini belum memberikan nilai dilusi yang baik karena belum memperhatikan aspek perancangan yang memberikan nilai *initial dilution* yang lebih besar, yaitu menggunakan konfigurasi perubahan sudut *port* yang berbeda terhadap arah arus.

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang akan dipecahkan tidak terlalu meluas maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut :

1. Faktor lingkungan yang mempengaruhi pemodelan *initial dilution* hanya berupa arus, tidak dipengaruhi oleh besarnya gelombang.
2. Kecepatan arus pada seluruh kedalaman air baik di permukaan maupun dasar adalah sama (*uniform*).
3. Fluida buangan atau *effluent* bersifat *incompressible* dan *inviscid*.
4. Struktur *outfall* menggunakan satu saluran pembuangan (*single port submerged discharge*).
5. Pengaruh zat warna terhadap perubahan densitas *effluent* diabaikan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan pustaka

Menurut hasil penelitian bahwa penggunaan *Ocean Outfall* menjadi salah satu cara untuk melakukan pembuangan limbah ke laut. Hal ini karena dari segi desain, *Ocean Outfall* berupa pipa-pipa yang ditempatkan di dasar laut dan dilengkapi dengan *diffuser* yang berguna untuk menyebarkan limbah ke badan laut. Dari segi ekonomi biaya pembuangan limbah juga relatif ekonomis, dibandingkan dengan pembuangan limbah yang melalui sistem pengolahan awal atau *pretreatment* terlebih dahulu sebelum dibuang ke laut. Untuk mendapatkan desain *ocean outfall* yang paling baik, kriteria yang harus dipenuhi sebagai syarat-syarat desain *diffuser* pada *Ocean Outfall* (Satriyanto, 2002) adalah sebagai berikut :

- 1) Cukup jauh dari pantai
Yaitu agar limbah/*effluent* tidak mencemari lingkungan pantai sehingga tidak membahayakan kehidupan manusia di sekitar pantai.
- 2) Sirkulasi yang baik untuk *flushing*
Yaitu limbah diharapkan mampu melakukan pengenceran/penghilangan kadar racun dengan baik sehingga tidak mengganggu kehidupan lingkungan laut.
- 3) Cukup kedalaman untuk terjadinya *initial dilution*
Yaitu dibutuhkan kedalaman yang cukup untuk terjadinya pencampuran awal antara limbah dengan air laut.
- 4) Fasilitas perbaikan dekat dengan pantai
Yaitu letak dari fasilitas *Ocean Outfall* cukup dekat dengan pantai, dengan tujuan agar pada saat ada kerusakan maka cepat untuk dilakukan perbaikan

Initial dilution merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam suatu pendesainan *Outfall*, yang mana merupakan ukuran perbandingan konsentrasi dari suatu polutan limbah cair pada saat dibuang dengan konsentrasinya saat berada pada level ketinggian tertentu terhadap *port*, baik pada permukaan atau di dasar laut (Mukhtasor, 2002). *Initial dilution* terjadi karena *entrainment* di sekitar fluida selama *effluent* mengalami gerakan *rising* yang berasal dari terminal *Outfall (port)*. Sedangkan gerakan ini timbul karena perbedaan densitas dan temperatur dari air limbah dengan air laut. Besarnya nilai dilusi dapat

4. Ekonomi

Selain ketiga aspek diatas maka ada satu aspek yang juga harus diperhitungkan yaitu aspek ekonomi. Aspek ini penting dalam melakukan pemilihan rancangan *Ocean Outfall* yang semurah mungkin. Analisa ekonomi biasanya dilakukan terhadap :

- 1) Berbagai kombinasi desain *Ocean Outfall* untuk berbagai kedalaman perairan yang berbeda pada tingkat keamanan lingkungan yang sama.
- 2) Berbagai konfigurasi peletakan *Ocean Outfall* untuk memilih rancangan yang paling murah pada tingkat keamanan lingkungan yang sama.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sea Outfall

Outfall merupakan salah satu struktur hidraulika yang menghubungkan antara *dry land headwork* dengan lokasi terminal pembuangan (*submerged port*) pada suatu sistem pembuangan limbah (Jirka, 2002).

Outfall tersusun oleh tiga komponen penyusun, yaitu :

1. *Onshore headwork (gravity* atau *pumping basin)*
2. *Feeder pipe line*, yang menghubungkan limbah cair atau *effluent* ke suatu area lingkungan dimana limbah itu dibuang.
3. *Diffuser*, yang merupakan bagian ujung pembuangan dimana *effluent* dibuang ke perairan laut melalui *port* atau *risers dispersing*, sehingga meminimumkan kerugian terhadap kualitas air laut.

Dari segi perancangan, struktur *Outfall* dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Berdasarkan konstruksi : perpipaan (*tailing*) dan *tunnel*.
2. Berdasarkan jumlah *port* : *single port discharge* dan *multi port discharge*.

Dalam penggunaannya, *Outfall* digunakan untuk pembuangan limbah-limbah yang bersifat non konservatif, seperti limbah bakteri, bahan-bahan organik dan limbah cairan panas.

Fasilitas *Ocean Outfall* yang paling banyak digunakan adalah *Ocean Outfall* jenis *buoyant jet* karena dengan ini pengenceran limbah menjadi lebih efektif. Jenis ini banyak digunakan pada daerah-daerah pantai (misalnya limbah domestik, air pendingin PLTU,

limbah industri daerah pantai, dan sebagainya) atau penggunaan di lepas pantai misalnya limbah produksi minyak, *produce water*/ air terproduksi, dan sebagainya (Satriyanto, 2002).

2.2.2 Dilusi *Ocean Outfall*

Penyebaran limbah cair dari suatu keluaran *Ocean Outfall* ke badan air laut diduga analog dengan keluarnya asap dari suatu cerobong pabrik (Wright, 1977). Dalam analog ini sebaran limbah cair yang keluar dari suatu *port* akan naik dan menyebar sebagai akibat adanya gaya *buoyancy*. Effluen akan tersebar searah arus *receiving water* (air laut) dan terdifusi ke arah horizontal dan vertikal yang tegak lurus dengan arah arus. Faktor lain yang berpengaruh terhadap perilaku penyebaran limbah cair ini adalah sifat fisik dan sifat kimia effluen, keadaan lingkungan *receiving water* (suhu, densitas, salinitas) dan kecepatan alir *effluent* itu sendiri.

2.2.2.1 *Near Field*

Near field merupakan suatu zona atau area buangan dimana lintasan dan proses pencampuran dipengaruhi momentum fluks, bouyansi fluks, geometri dari *discharge port* dan geometri dari *effluent* (Doneker, 1996).

Effluent mengalir dari *submerged discharge port* memberikan diskontinuitas kecepatan antara *effluent* dengan fluida *ambient*. Terbentuk suatu penambahan lebar aliran fluida yang turbulen di segala arah akibat *entrainment* pada sisi-sisi luar lintasan.

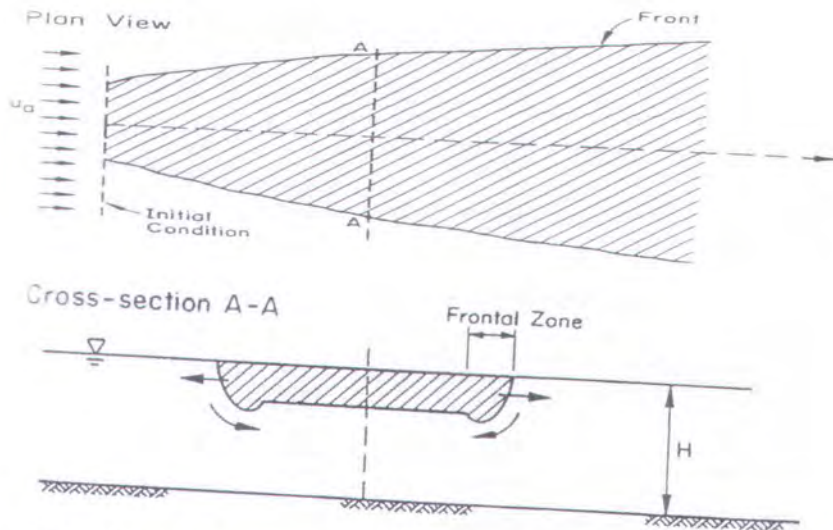
Proses pencampuran, dipengaruhi oleh kejadian arus silang (*cross flow*) atau perbedaan densitas, termasuk *jet mixing*, *buoyant mixing*, interaksi dengan air permukaan dan batas dasar perairan. Berdasarkan kestabilan buangannya, aliran *near field* dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. *Stable discharge*, biasanya terjadi karena kombinasi gaya apung yang besar, momentum yang lemah dan pada laut yang dalam.

1. Proses pembentangan (*buoyant spreading process*)

Merupakan suatu pergerakan *effluent* horizontal membentuk suatu bentangan akibat adanya gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan densitas antara *effluent* dengan densitas *ambient*. Pada keadaan ini, *effluent* menebal secara vertikal membentuk suatu lapisan tipis yang sangat luas, kecuali dihalangi oleh batas-batas samping. Berdasarkan jenis aliran dan stratifikasi densitas, pembentangan *effluent* dapat terjadi melalui empat lokasi, yaitu :

- Bentangan permukaan
- Bentangan di dasar laut
- Bentangan pada daerah pinoklin
- Bentangan di *terminal level*



Gambar 2.3 *Buoyant spreading process* pada near-field (Doneker, 1996).

2. Proses difusi pasif

Terjadi apabila tidak ada gerakan apung dari *effluent* atau gerakan apung yang lemah dan air laut bersifat non stratifikasi. Kekuatan dari mekanisme difusi ini dipengaruhi oleh geometri aliran dan jumlah stratifikasi *ambient*.

2.2.3 Near Field Initial Dilution

Initial dilution adalah salah satu aspek terpenting dalam melakukan desain *outfall*, yaitu merupakan perbandingan dari konsentrasi polutan atau limbah yang dibuang dengan

konsentrasi setelah mencapai ketinggian tertentu terhadap *port* (Mukhtasor, 2002), dan dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{(C_d - C_a)}{(C - C_a)} \quad (2.1)$$

Dimana :

S = *initial dilution*

C_d = konsentrasi *effluent*

C_a = konsentrasi *ambient*

C = konsentrasi pada kesetimbangan

Atau dapat dinyatakan sebagai perbandingan temperatur, yang dirumuskan :

$$S = \frac{(T_d - T_a)}{(T - T_a)} \quad (2.2)$$

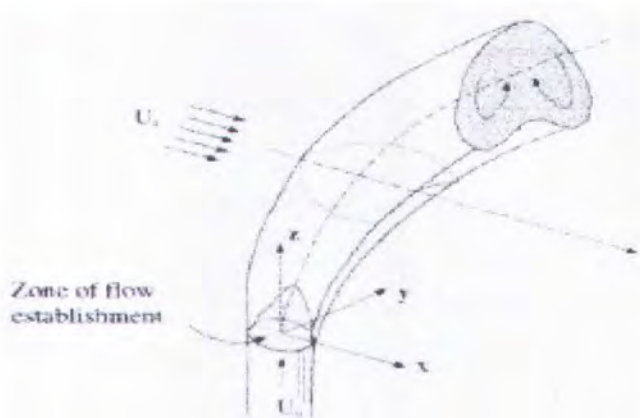
Dengan :

T_d = temperatur *effluent*

T_a = temperatur *ambient*

T = temperatur pada level kesetimbangan

Initial dilution terjadi karena *entrainment* fluida di sekitar selama *effluent* mengalami *rising* atau *sinking* dari *port outfall*. Model daripada *rising buoyant jet* dalam suatu arus dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Buoyant jet discharge* pada suatu arus (Kim & Seo, 2001).

Air limbah dibuang ke perairan lingkungan dikarakterisasikan oleh tiga parameter, yaitu model *outfall*, karakteristik aliran *effluent* dan faktor lingkungan (Fischer dkk, 1979). Perilaku *plume* dan dilusi ditunjukkan oleh kinematika massa, momentum dan *buoyancy flux*, serta dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = u_d \pi D^2 / 4 \quad (2.3)$$

$$M = Qu_d \quad (2.4)$$

$$B = Qg' = Q[(\rho_a - \rho_d) / \rho_a]g \quad (2.5)$$

dimana :

D = diameter *port (nozzle)*

u_d = kecepatan effluen

ρ_d = densitas effluen

ρ_a = densitas *ambient*

g = percepatan gravitasi

Q = debit effluen yang dikeluarkan

M = Momentum fluks

B = buoyansi fluks

Analisa dimensional dari parameter diatas, pada kondisi aliran yang memiliki perbedaan densitas, ditunjukkan oleh dua skala panjang,

$$L_Q = \frac{Q}{M^{1/2}} \quad (2.6)$$

$$L_M = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} \quad (2.7)$$

dimana :

L_Q = skala geometri dari pembuangan

L_M = skala panjang transisi jet/*plume*

Apabila z sangat kecil dibandingkan dengan L_Q maka perilaku dari *plume* sulit untuk diprediksikan. Untuk $z \gg L_Q$, geometri dari jet tidak diperhitungkan dan perilaku dari

aliran dibentuk oleh M dan B , dan apabila $z \gg L_M$ maka *buoyancy* menjadi lebih efektif dan alirannya membentuk suatu *plume*.

Dengan adanya kecepatan arus *ambient*, dapat dibentuk dua persamaan skala panjang, l_m dan l_b , yang penjabarannya sebagai berikut :

$$l_m = \frac{M^{1/2}}{u_a} \quad (2.8)$$

$$l_b = \frac{B}{u_a^3} \quad (2.9)$$

Skala panjang l_m menghubungkan interaksi antara momentum yang mendominasi gerakan *effluent* dengan besarnya arus yang terjadi. Sedangkan l_b menunjukkan jarak vertikal yang mana kecepatan yang dipengaruhi *buoyancy* terdegradasi oleh kecepatan arus *ambient*.

Initial dilution secara fisik dapat diwakili oleh parameter yang relevan (Lee dan Cheung, 1991), yaitu :

$$S = f(Q, M, B, u, z) \quad (2.10)$$

Dan apabila dihubungkan dengan persamaan skala panjang diatas akan dapat diperoleh parameter non dimensional (Mukhtasor, 2002) sebagai berikut :

$$S = f\left(\frac{l_Q}{l_b}, \frac{l_m}{l_b}, \frac{z}{l_b}\right) \quad (2.11)$$

2.2.3.1 Single Port Submerged Discharge

Single port submerged discharge merupakan salah satu jenis *Outfall* yang memiliki terminal pembuangan berupa *nozzle* tunggal. Peletakannya berada terbenam dengan orientasi secara vertikal maupun horizontal terhadap arah arus menghasilkan *turbulent jet* atau *plume*. Effluen dikeluarkan dari *nozzle* dengan parameter-parameter kecepatan u_d , perbedaan densitas relatif $\Delta\rho/\rho_a$ dan percepatan gravitasi $g' = (\Delta\rho/\rho_a)g$, dengan diameter lubang *nozzle*/diffuser sebesar D , sehingga menghasilkan *initial dilution* yang baik.

Untuk proses dilusi dimana *jet Reynold number* nya, $Re = u_d D / \nu$ mencapai 2000, sering terjadi pada kondisi praktis dan alirannya adalah turbulen. Konsentrasi dan kecepatan daripada proses dilusi ini ditentukan oleh dua parameter penting, yaitu harga *Froude Number* (F_r), $F_r = \frac{u_a}{\sqrt{g' D}}$ dan kedalaman relatif z/D .

2.2.3.2 Multi Port Submerged Discharge

Air limbah atau *effluent* yang memiliki debit yang sangat besar, dibuang melalui *multiport diffuser*. *Multiport diffuser* merupakan jenis *outfall* yang memiliki lebih dari satu *port* yang menjulang atau terhubung dengan *riser*, berupa struktur yang linier dan menjadi satu rangkaian yang terstruktur (Hino, 1994). *Nozzle* yang dimiliki dapat berorientasi membentuk sudut ke segala arah. *Multiport discharge* adalah sistem pembuangan yang sangat efisien, karena mampu melarutkan *effluent* secara singkat dengan jarak yang dekat.

Ada tiga tipe *nozzle/port* pada *outfall* jenis *multiport*, diantaranya adalah :

1. *Unidirectional diffuser*, yaitu semua semburan menunjuk arah yang sama, tegak lurus terhadap *diffuser axis*.
2. *Staged diffuser*, yaitu tiap pancaran diatur secara zig zag mengarah sama dan paralel terhadap *diffuser axis*.
3. *Alternating diffuser*, yaitu tiap pancaran dari *nozzle* berada pada arah yang berlawanan.

2.2.4 Single plume, flowing current, unstratified

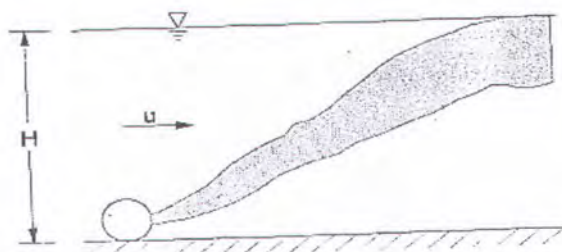
Suatu pergerakan arus dapat menyebabkan *plume* membentuk suatu arus bawah dan menambah besarnya dilusi (gambar 2.5). Parameter yang terpenting untuk *sewage outfalls* adalah boyansi fluks, dan skala panjang yang digunakan untuk efek dari arus adalah :

$$l_b = \frac{B}{u_a^3} \quad (2.12)$$

Lee & Cheung (1991) menganalisa masalah ini dengan mengabaikan volume sumber dan momentum fluks, sehingga didapatkan besaran dilusi sebagai berikut :

$$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = 0,10 \left(\frac{z}{l_b} \right) \quad (\text{zona Buoyancy Dominated Near Field (BDNF)}) \quad (2.13)$$

$$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = 0,51 \left(\frac{z}{l_b} \right) \quad (\text{zona Buoyancy Dominated Far Field (BDFF)}) \quad (2.14)$$



Gambar 2.5 Buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan *uniform* (Singh, 1996)

Untuk $z \gg l_b$, aliran fluida dapat dikategorikan sebagai *buoyancy dominated far-field* (BDFF), dan persamaan (2.14) dapat digunakan.

2.2.5 Single plume, flowing current, stratified

Wright (1977) mempelajari vertikal *buoyant jet* dalam suatu aliran yang memiliki perbedaan densitas serta adanya pengaruh arus dan mendapatkan solusi untuk kondisi dimana *buoyancy* mendominasi pergerakan *effluent*. Penyelesaian daripada kenaikan fluks adalah sebagai berikut :

$$\frac{z_e}{l_b} = 1,8 \left(\frac{l_a}{l_b} \right)^{2/3} \quad (2.15)$$

$$l_a = u_a N \quad (2.16)$$

$$N = \left(- \frac{g}{\rho_a} \frac{\partial \rho_a}{\partial z} \right)^{1/2} \quad (2.17)$$

dimana :

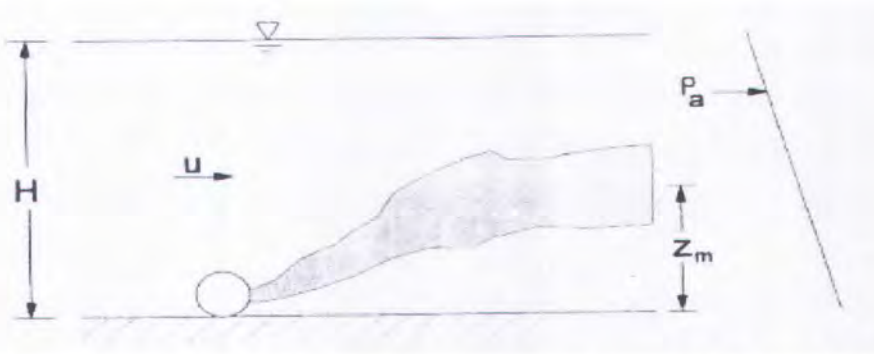
N = frekuensi *buoyancy*

$\rho_a(z)$ = densitas *ambient* pada ketinggian z

Rumus diatas bisa juga digunakan untuk pembuangan effluen secara horizontal serta memiliki momentum yang kecil. Untuk memprediksikan dilusi minimum pada *port* dari kenaikan fluks, Wright mengganti z pada persamaan (2.13) dengan z_e pada persamaan (2.15), dan dihasilkan :

$$\frac{SQN^{4/3}}{u_a^{1/3} B^{2/3}} = 1,33 \quad (2.18)$$

Situasi diatas dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah.



Gambar 2.6 *Buoyant jet tunggal pada kondisi arus silang dan stratified* (Singh, 1996).

2.2.6 Pemodelan Fisik Initial Dilution

Percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk lebih kecil dengan prinsip kesebangunan (similiaritas) yang memadai di laboratorium dikenal dengan istilah pemodelan fisik (Hughes, 1993). Dengan dibuatnya suatu model maka akan dapat diprediksikan perilaku dari suatu model yang akan dibangun.

Dalrymple (1985) menunjukkan dua keuntungan menggunakan pemodelan fisik untuk proses-proses pantai, yaitu :

1. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan fisik tanpa penyederhanaan asumsi sebagaimana yang digunakan untuk model matematis atau model analitis.
2. Dengan model dalam skala kecil akan mengurangi biaya jika dibandingkan dengan pengumpulan data lapangan yang sulit dicapai secara simultan.

Akan tetapi Hughes (1993) menyatakan bahwa pemodelan fisik juga terdapat beberapa kesalahan yang mungkin terjadi, diantaranya :

1. Efek skala

Terjadi karena model lebih kecil dari prototip yang sebenarnya, sehingga tidak mungkin mensimulasikan semua variabel yang relevan dalam hubungan yang benar satu sama lain.

2. Efek laboratorium

Dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan, karena tidak mampu untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistis serta pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.

3. Kadangkala fungsi gaya dan kondisi batas yang terjadi di alam tidak dimasukkan dalam pemodelan fisik.

4. Pemodelan fisik sangat mahal untuk dioperasikan dibandingkan dengan pemodelan matematis.

Model pembuangan limbah panas pada sistem *outfall* melibatkan beberapa proses fisika yang bervariasi dan kompleks, diantaranya adalah proses injeksi, dispersi dan pendinginan limbah panas saat terjadi pelarutan dengan air laut, sehingga dibutuhkan prinsip kesebangunan (*thermal similitude*) dalam pemodelan fisik.

Kesebangunan yang sesuai untuk kenaikan buoyansi dari *discharge jet*, saat diinjeksikan di bawah permukaan air, bergantung pada besarnya gravitasi dan perbedaan relatif densitas antara effluen dengan *ambient* (Hughes, 1993). Hal ini dipenuhi dengan mengatur nilai bilangan *Froude* yang sama antara model dan *prototype*, dimana :

$$F_o = \frac{u_a}{\sqrt{g \left(\frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a} \right) H}} \quad (2.19)$$

dengan : u_a = kecepatan arus *ambient*

g = percepatan gravitasi

H = kedalaman air

ρ_a = densitas *ambient*

ρ_d = densitas *effluent*

Dan skala yang diperbolehkan adalah :

$$\frac{N_v}{\sqrt{N_g N_L N_s}} = 1 \quad (2.20)$$

dimana :

$$N_s = \frac{\left(\frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a} \right)_p}{\left(\frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a} \right)_m} = 1 \quad (2.21)$$

Studi model harus memperhatikan proses fisik yang akan ditirukan, sehingga kejadian dan perilaku yang timbul pada model sebangun dengan yang ada di *prototype*. Kesebangunan ini meliputi sebangun geometrik (*geometric similarity*), sebangun kinematik (*kinematic similarity*) dan sebangun dinamik (*dynamic similarity*) (Hughes, 1993).

2.2.6.1 Sebangun Geometrik (*geometric similarity*)

Sebangun *geometric* dipenuhi apabila bentuk model dan bentuk *prototype* sebangun, artinya bahwa perbandingan semua ukuran panjang dan *prototype* sebanding dengan skala perbandingan atau skala model. Hughes (1993) memberikan model persamaan untuk kesebangunan geometri :

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.22)$$

Dimana :

nL = skala panjang

L_p = panjang pada *prototype*

L_m = panjang dari model

Sebangun geometrik ini terdiri dari dua jenis model, yaitu :

1. Model distorsi (*distorted model*), adalah model dengan skala arah horizontal dan vertikal tidak sama yang ditunjukkan untuk :

- Skala luas posisi panjang : $nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_m} = (nL)^2$

- Skala luas posisi vertikal :
$$nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_m} = nL \times nh$$
- Skala volume :
$$nV = \frac{V_p}{V_m} = (nL)^2 \times nh$$

2. Model tidak distorsi (*undistorted model*), adalah model dengan skala panjang dan lebar (horizontal) serta skala tinggi (vertikal) sama, dan ditunjukkan sebagai berikut:

- Skala luas :
$$nA = \frac{A_p}{A_m} = \frac{(\text{panjang} \times \text{lebar})_p}{(\text{panjang} \times \text{lebar})_m} = (nL)^2$$
- Skala volume :
$$nV = \frac{V_p}{V_m} = (nL)^3$$

2.2.6.2 Sebangun Kinematik (*Kinematic Similarity*)

Sebangun kinematik ditunjukkan oleh kesebangunan dari gerakan aliran antara model dengan *prototype*. Kesebangunan kinematis dicapai apabila perbandingan antara komponen pada seluruh gerakan *prototype* dan model adalah sama untuk semua partikel dan seluruh waktu (Hughes, 1993). Pada model tanpa distorsi, seluruh arah, percepatan dan kecepatan mempunyai perbandingan yang sama sedangkan pada model distorsi, hanya arah vertikal dan horizontal saja yang memiliki perbandingan sama. Berdasarkan kesebangunan kinematik, didefinisikan nilai-nilai skala berikut :

- Skala kecepatan :
$$n_u = \frac{U_p}{U_m} = \frac{L_p / T_p}{L_m / T_m} = \frac{L_p / L_m}{T_p / T_m} = \frac{n_L}{n_T}$$
- Skala percepatan :
$$n_a = \frac{a_p}{a_m} = \frac{L_p / T_p^2}{L_m / T_m^2} = \frac{n_L}{n_T^2}$$
- Skala debit :
$$n_q = \frac{q_p}{q_m} = \frac{L_p^3 / T_p}{L_m^3 / T_m} = \frac{n_L^3}{n_T^3}$$

2.2.6.3 Sebangun Dinamik (*Dynamic Similarity*)

Sebangun dinamik dipenuhi apabila model dan *prototype* telah memenuhi kesebangunan geometri dan kinematik serta perbandingan gaya-gaya yang bekerja untuk semua vektor pada kedua sistem juga sama (Hughes, 1993). Sebagai ukuran gaya pada model dan

prototip dari suatu fluida, dipakai hukum Newton kedua dimana gaya total yang bekerja pada model dan *prototype* ditunjukkan sebagai berikut :

$$F_i = F_g + F_\mu + F_\sigma + F_e + F_{pr} \quad (2.23)$$

Dimana :

$$F_i - \text{gaya inersia} : F_i = \rho L^2 v^2$$

$$F_g - \text{gaya gravitasi} : F_g = \rho L^3 g$$

$$F_\mu - \text{gaya viskos} : F_\mu = \mu v L$$

$$F_\sigma - \text{gaya tegangan permukaan} : F_\sigma = \sigma L$$

$$F_e - \text{gaya kenyal} : F_e = E L^2$$

$$F_{pr} - \text{gaya tekanan} : F_{pr} = p L^2$$

Kesebangunan dinamik tidak perlu gaya-gaya diatas memiliki perbandingan gaya yang sama, hanya gaya-gaya yang penting dalam permasalahan saja yang diperhitungkan. Kesebangunan dinamik dapat digambarkan sebagai rasio gaya-gaya yang tidak berdimensi dan dinyatakan dalam kriteria-kriteria sebagai berikut:

- Bilangan *Froude* : $\left[\frac{V}{\sqrt{gL}} \right]_p = \left[\frac{V}{\sqrt{gL}} \right]_m$
- Bilangan *Reynold* : $\left[\frac{\rho V L}{\mu} \right]_p = \left[\frac{\rho V L}{\mu} \right]_m$
- Bilangan *Weber* : $\left[\frac{\rho V^2 L}{\sigma} \right]_p = \left[\frac{\rho V^2 L}{\sigma} \right]_m$
- Bilangan *Euler* : $\left[\frac{p}{\rho V^2} \right]_p = \left[\frac{p}{\rho V^2} \right]_m$
- Bilangan *Strouhal* : $\left[\frac{L}{V t} \right]_p = \left[\frac{L}{V t} \right]_m$

2.2.7 Analisa Dimensi

Analisa dimensi merupakan prosedur rasional untuk mengkombinasi variabel fisik kedalam hasil atau bilangan tak berdimensi, dengan mengurangi jumlah variabel yang masih dipertimbangkan (Hughes, 1993). Dalam pembuatan model akan diperoleh suatu

variabel yang bersifat *dependent* dan *independent* yang dapat menggambarkan hasil penelitian dalam bilangan tak berdimensi. Beberapa cara yang digunakan dalam menentukan bilangan tak berdimensi adalah sebagai berikut :

1. *Basic Echelon Matrix*
2. *Stepwise*
3. *Langhaar*
4. *Buckingham (phi theorem)*
5. *Rayleigh*

Teori *Buckingham* merupakan prosedur sistimatis dalam menentukan nilai atau produk tak berdimensi yang komplit, yang berasal dari beberapa variabel proses, dan didahului oleh petunjuk berapa banyak bilangan tak berdimensi yang dibentuk. Teori *Buckingham* akan dipakai dalam penelitian ini untuk menentukan bilangan tak berdimensi.

Aturan daripada teori *Buckingham* untuk persamaan homogen yang tak berdimensi yang menyertakan “n” variabel, hasil bilangan tak berdimensi yang terbentuk adalah “n – r” dimana “r” adalah angka dimensi dasar yang terkandung di dalam variabel. Beberapa persamaan dapat diuraikan atau dibentuk kembali ke dalam suatu persamaan baru tak berdimensi (π), dimana :

$$\pi_1 = \psi (\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-r}) \quad (2.24)$$

Untuk permasalahan hidrodinamika pantai, khususnya untuk percobaan dilusi *outfall*, model fisik dari aliran fluida dapat diuraikan menjadi kecepatan (u), panjang (L), buoyansi (B), momentum (M), debit (Q), densitas (ρ), temperatur (T) dan percepatan gravitasi (g). Sehingga variabel diatas digunakan untuk menentukan bilangan tak berdimensi dan disusun dalam tabel 2.1.

Dari beberapa variabel pada matriks diatas, variabel yang mengalami perubahan adalah (u_a , T, B, M, Q, ρ_d), dimana :

u_a = kecepatan arus

T = temperature *effluent*

M = momentum jet

ρ_d = densitas *effluent*

B = buoyansi *effluent*

Q = debit effluen yang dikeluarkan

Tabel 2.1 Matrik bilangan tak berdimensi

	u_a	D	T	ρ_d	B	g	M	Q
L	1	1	0	-3	4	1	4	3
T	-1	0	0	0	-3	-2	-2	-1
M	0	0	0	1	0	0	0	0
K	0	0	1	0	0	0	0	0



BAB III **METODOLOGI PENELITIAN**

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

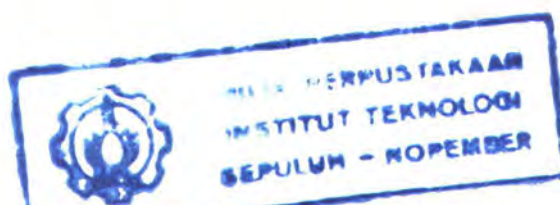
3.1 Prosedur Umum

Percobaan yang akan dilakukan ini bertujuan membuat suatu pemodelan polutan limbah panas secara fisik di laboratorium, menggunakan metode distribusi temperatur. Polutan limbah panas dibuang melalui struktur hidraulika yang disebut dengan *ocean outfall*, yang dapat mendilusikan atau mengencerkan sehingga konsentrasi atau temperatur limbah menjadi berkurang.

Polutan limbah panas (*thermal discharge*) diinjeksikan pada aliran arus *ambient* yang lemah menggunakan jenis *ocean outfall* yaitu *single port*. Polutan dimodelkan dari *fresh water* dengan *range* temperatur 40-60°C yang dikeluarkan melalui pipa serta melewati *nozzle* dengan diameter (D) = 0,75 cm. Percobaan untuk memodelkan secara fisik polutan limbah panas ini dilakukan di *flume tank* yang berukuran 20,3 m x 2,5 m x 2,3 m yang telah dilengkapi dengan *current generator* untuk menggerakkan arus lemah dengan *range* kecepatan 0,22 – 3,36 cm/s. Kedalaman air *ambient* (H) = 40 cm untuk semua percobaan dengan tujuan membiarkan *plume* mengalami kenaikan (*rising*) dengan bebas serta mengurangi pengaruh dari permukaan air.

Untuk memvisualisasikan proses terjadinya pengenceran dari dua fluida tersebut, *effluent* diberi zat warna berupa larutan *fluorescein*, serta dilakukan pengambilan gambarnya menggunakan kamera digital 3,0 Mega Pixel. Pemodelan polutan ini dilakukan menggunakan transducer temperatur yaitu termokopel yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi panas fluida dengan tingkat akurasi pembacaan 0,1 °C, sehingga besarnya *initial dilution* pada daerah *centerline discharge* dapat dihitung. Menggunakan prinsip-prinsip analisa dimensi, akan diperoleh suatu persamaan empiris yang dapat diaplikasikan dalam penghitungan *initial dilution*.

Flowchart daripada prosedur penelitian secara umum digambarkan sebagai berikut:



Dari *flowchart* diatas dapat dijelaskan tahap-tahap prosedur penelitian sebagai berikut :

A. Set Geometri Dan Model Fisik Profil

Pada percobaan ini menggunakan jenis *outfall submerged single port discharge* pada kondisi air yang *uniform* dengan aliran arus lemah, dimana datanya adalah:

1. Data awal dari *Outfall* :

- Diameter *port/nozzle* : 7,5 mm
- Ketinggian dari dasar *flume tank* : 30 cm
- Kecepatan alir *effluent* : 5,59 – 13.2 cm/s
- Temperatur *effluent* : 40 – 70 °C

2. Data lingkungan :

- Kedalaman air : 40 cm
- Kecepatan arus : 0.22 – 3.36 cm/s
- Temperatur *receiving water* : 28.2 °C
- Kecepatan angin = 0 cm/s

B. Set Parameter Kondisi Awal dan Batas (*boundary condition*)

Beberapa percobaan ini dilakukan pada kondisi *buoyancy dominated* untuk *heated water jet* secara vertikal pada arus lemah. Parameter yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

1. Untuk memperkecil efek daripada momentum sumber maka besarnya bilangan *Froude* harus bernilai dibawah 4 (Lee dan Cheung, 1991), dimana:

$$F_o = \frac{u_o}{\sqrt{g'D}} < 4$$

2. Pada pemodelan ini, agar gerakan *effluent* didominasi oleh buoyansi sehingga pergerakannya menjadi suatu *plume* atau *smoke*, maka :

$$\frac{Z}{l_b} \ll 1 \quad \text{dan} \quad \frac{Z}{l_m} \gg 1$$

3. Untuk menstabilkan aliran *discharge* agar tidak terjadi gerakan resirkulasi maka :

$$\frac{H}{D} > 0,22F_0$$

C. Analisa Hasil Percobaan

D. Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang diperoleh pada percobaan yang telah dilakukan, maka akan dibuat suatu kesimpulan tentang pengaruh sudut *port* pada pemodelan fisik *Ocean Outfall* terhadap perilaku dari *buoyant plume* yang mengalami kenaikan sampai elevasi tertentu

A. *Flume tank*

Spesifikasi untuk *flume tank* adalah sebagai berikut :

1. Material

- Dinding samping : *Toughened glass* dan *Mild steel* (SS400)
- Lantai dan dinding akhir : *Mild steel* (SS400)

2. Dimensi

- Badan utuh :
 - Panjang : 20,300 m
 - Lebar : 2,300 m
 - Tinggi : 2,500 m
- Bagian untuk pengukuran :
 - Panjang : 10,000 m
 - Lebar : 2,000 m
 - Tinggi : 1,500 m
 - Kedalaman air : 0,400 m

3. Jendela Observasi

- Panjang : 1,700 m
- Tinggi : 1,344 m
- Jumlah : 7 buah
- Material : *Toughened glass*

B. *Current Generator*

1. Type : 2 set *impeller*

2. Diameter pipa : 340 mm

3. Performance :

- *Velocity range* : 2,5 cm/s – 10 cm/s
- *Velocity distribution* : $\pm 10\%$ x 10 cm/s
- Posisi pengukuran : 2m dibawah *flow uniformer*
- Akurasi pengukuran : $\pm 1\%$ untuk skala penuh
- Respon dinamik : 5 Hz

C. Akuisisi Data

Spesifikasi *hardware* dan *software* yang digunakan untuk pengolahan data hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

1. *Hardware*

- *Type* : *Desktop*
- *CPU* : *Pentium 266 MHz*
- *RAM* : *64 MB*
- *Hard Disk* : *3 GB*
- *CRT* : *14 inch*
- *Expanded slot* : *dua*
- *CD-ROM Drive* *satu*
- *Floppy disk drive* : *3,5 inch, 1,4 MB*
- *Data Acquisition interface* : *A/D board, 16 channel, 12 bit, 16 kHz, plus counter*

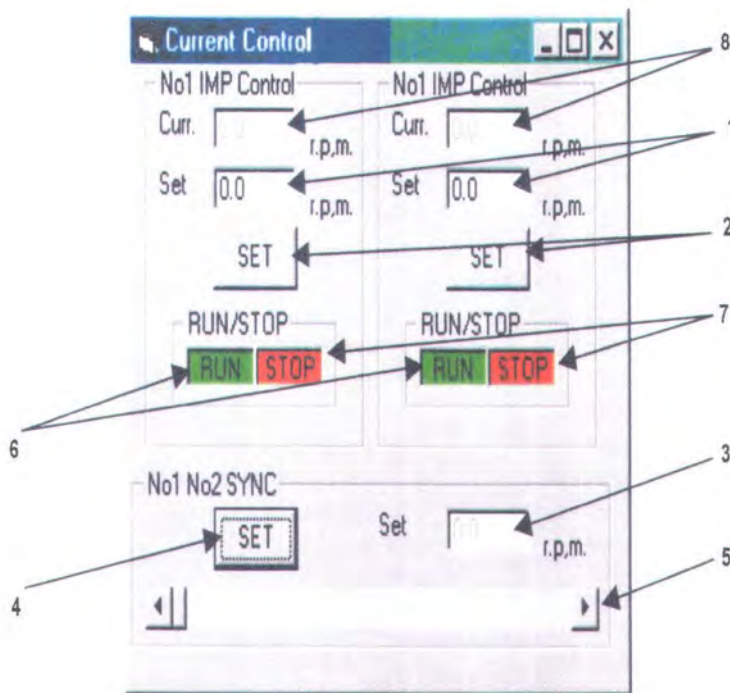
2. *Software*

- Sistem *software* yang digunakan adalah MS-DOS Ver. 6.2 dan WINDOWS 95

Untuk membangkitkan arus, *current generator* dihubungkan dengan *control panel* (gambar 3.3) dan diolah melalui komputer yang telah terintegrasi secara *interface*.



Gambar 3.3 Komputer Kontrol



Gambar 3.4 *Current generator control program*

Keterangan :

- 1 : Setting R.P.M input column
- 2 : Change condition command button
- 3 : Synchronize R.P.M input column
- 4 : Synchronize condition change command button
- 5 : Synchronize R.P.M input slide bar
- 6 : Run command button
- 7 : Stop command button

3.4 Design Eksperimen dan Instrumentasi

3.4.1 Alat-alat dan bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut:

1. *Flume tank* dengan ukuran 20.3 m x 2.5 m x 2.3 m di laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, FTK-ITS.



Gambar 3.5 *Wave Tank*

2. *Reservoir* berbentuk silinder dengan kapasitas 250 liter.
3. Pipa PVC dengan ukuran diameter 1 in, dan panjang ± 20 m.
4. *Nozzle* dengan diameter luar 7.5 mm yang diletakkan di tengah *flume tank*.
5. Sensor panas, seperti *termalvision*, *termocouple* dengan ketelitian mencapai 0.1°C dengan pembacaan sistem digital.
6. *Jet pump*
7. *Heater*
8. Larutan *fluorescein* yaitu *Naftol* sebagai *effluent*.

3.4.2 Prosedur Percobaan *Initial Dilution*

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan percobaan ini adalah sebagai berikut :

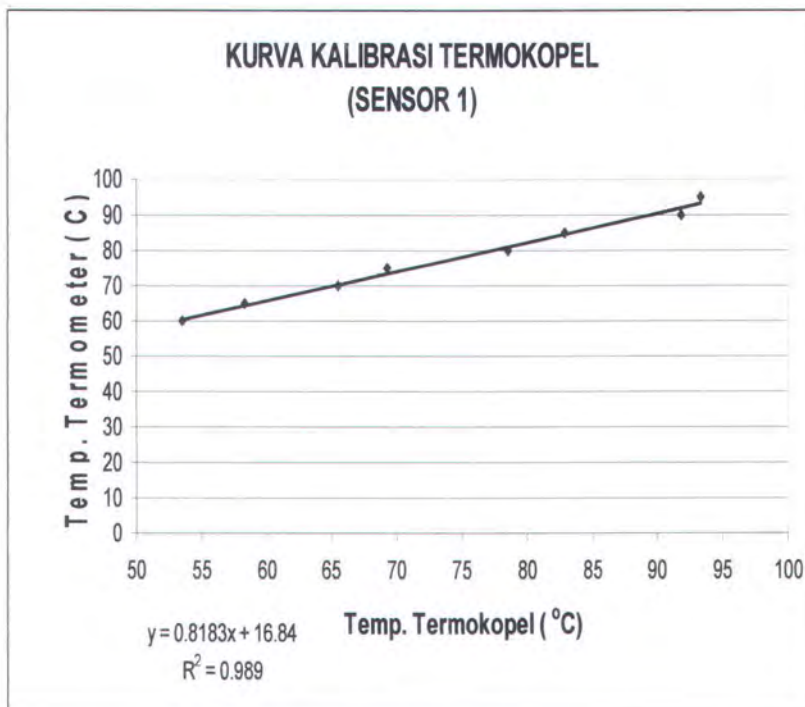
1. *Flume tank* diisi dengan air tawar dengan kedalaman 40 cm.
2. Memasang *nozzle* dengan diameter 7.5 mm secara vertikal ditengah-tengah dari *flume tank* dengan ketinggian 30 cm dari dasar.
3. *Effluent* dialirkan dari *reservoir* yang telah dilengkapi dengan *heater*/pemanas melalui pipa melewati sehingga air keluar melalui *nozzle* mempunyai suhu awal (T_0) $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$ diatas suhu *ambient*.
4. Kedalaman air dalam *flume tank* selalu dijaga 40 cm kedalamannya untuk seluruh percobaan, agar memberikan kenaikan *plume* yang bebas dari efek permukaan.
5. Mencatat temperatur *effluent* sepanjang *centerline jet* dan *plume* pada arah x, y, z secara transversal dan longitudinal menggunakan alat sensor panas *termocouple* saat terjadi dilusi.

6. Memvisualisasikan aliran dari proses pencampuran effluen dengan *ambient* (*mixing process*) dan dilusi menggunakan kamera digital sehingga perubahan warna effluen yang terjadi juga dapat teramati.
7. Melakukan kembali percobaan diatas dengan menggunakan orientasi sudut *nozzle* yang berbeda yaitu 30°, 45°, 60° terhadap arah arus.
8. Menginterpretasikan dan menganalisa data yang diperoleh.

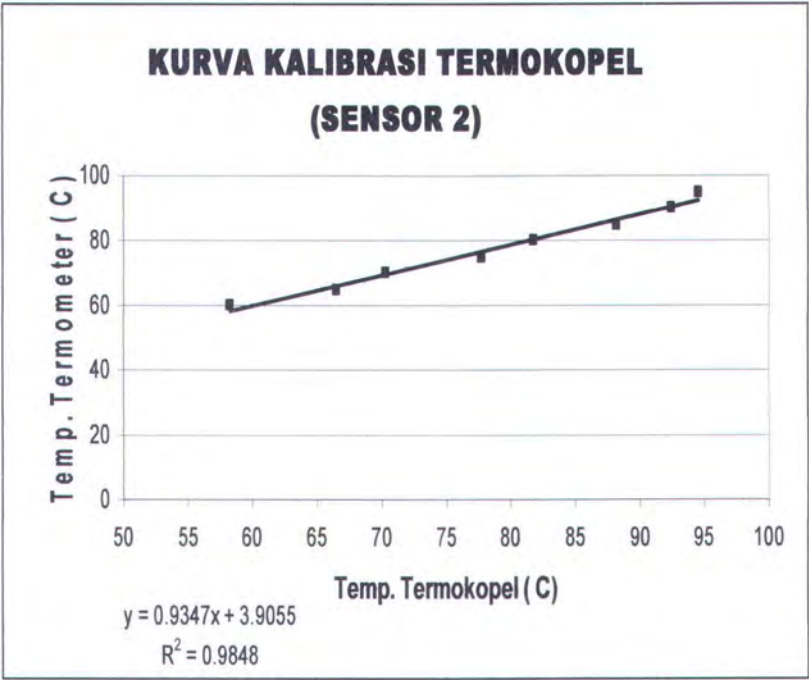
3.5 Kalibrasi Termokopel

Kalibrasi merupakan suatu pengontrolan dan pencocokan skala bacaan suatu alat ukur yang digunakan untuk pengukuran dengan suatu alat standar kalibrasi. Untuk mendapatkan keseksamaan yang tinggi pada proses pengamatan dan pengambilan data percobaan, maka perlu adanya suatu kalibrasi terhadap instrumen yang digunakan, yaitu penggunaan termokopel dan alat ukur arus (*current meter*).

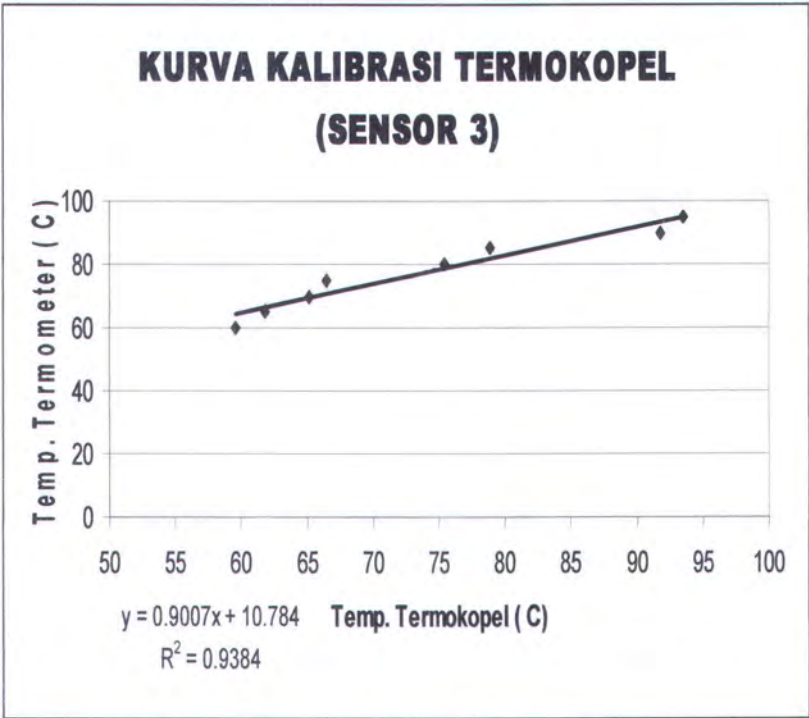
Kalibrasi *tranducer temperatur* (termokopel) dilakukan dengan menggunakan termometer raksa, untuk mengetahui apakah temperatur yang terdeteksi oleh sensor panas sama dengan temperatur yang terdeteksi oleh air raksa.



Gambar 3.6 Kurva Kalibrasi Sensor 1



Gambar 3.7 Kurva Kalibrasi Sensor 2



Gambar 3.8 Kurva Kalibrasi Sensor 3

Termokopel yang digunakan memiliki 3 sensor yang masing-masing sensor terhubung dengan skala pembacaan (*display*) tersendiri. Sehingga perlu dilakukan pengkalibrasian tiap-tiap sensor. Untuk setiap pengkalibrasian dengan rentang suhu 10°C diperoleh kurva baku kalibrasi seperti gambar (3.6), (3.7) dan (3.8).

3.6 Metode Analisa Data Percobaan

Metode yang digunakan untuk memodelkan *initial dilution* pada percobaan adalah dengan metode π -*Buckingham*, dimana langkah-langkah penyelesaiannya adalah sebagai berikut :

1. Merepresentasikan jumlah total variabel (n) yang mengkarakteristikan model *initial dilution*.

$$S = f(Q, M, B, u_a, Z, g')$$

2. List dimensi primer tiap variabel (M, L, T, θ)

- Variabel ini memiliki unit :

S = tidak berdimensi, π

$$Q = L^3 T^{-1} \quad u_a = L T^{-1}$$

$$M = L^4 T^{-2} \quad Z = L$$

$$B = L^4 T^{-3} \quad g' = L T^{-2}$$

3. Menghitung jumlah dimensi primernya, $j = 2$
4. Menghitung bilangan non dimensi yang bisa dibentuk, dimana :

$$K = n - j$$

5. Memilih sejumlah j variabel sebagai *repeating* variabel, dengan syarat :
 - Variabel yang terpilih mewakili seluruh dimensi sistem yang ditinjau
 - Variabel yang terpilih tidak boleh membentuk non-dimensi dengan sendirinya

Misal : $\pi_1 = f(D, u_a)$

$$\pi_2 = f(D, u_a)$$

$$\pi_3 = f(D, u_a)$$

6. Membentuk perkalian berpangkat antara sejumlah j variabel tersebut diatas dengan masing-masing sisa dari K variabel dan kemudian menetapkan pangkat = 0.

Model *initial dilution* dilusi yang telah diperoleh dengan menggunakan analisa dimensi digunakan sebagai parameter awal untuk mendapatkan suatu persamaan *initial dilution*.

Analisa selanjutnya adalah menggunakan metode regresi non linier, untuk mencocokkan garis-garis regresi dengan data sampel yang teramati sehingga diperoleh suatu kesimpulan parametrik yang tepat. Nilai konstanta *initial dilution* yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai konstanta *initial dilution* yang diperoleh Lee dan Cheung (1991) dengan memasukkan data-data input yang sama sesuai dengan percobaan.



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Percobaan *Initial dilution* Limbah Panas.

Percobaan untuk memodelkan secara fisik polutan limbah panas ini dilakukan di *flume tank* yang berukuran 20,3 m x 2,5 m x 2,3 m yang telah dilengkapi dengan *current generator* untuk menggerakkan arus lemah dengan *range* kecepatan 0,22 – 3,36 cm/s. Polutan dimodelkan dari *fresh water* dengan *range* temperatur 40-60°C yang dikeluarkan melalui pipa serta melewati *nozzle* dengan diameter (D) = 0,75 cm. Masing-masing *port* memiliki sudut yang berbeda dimana dimodelkan *outfall* dengan sudut 30°, 45° dan 60° terhadap arah arus yang mengarah vertikal kebawah dan diberi kedalaman yang sama yaitu 10 cm. Kedalaman air *ambient* (H) = 40 cm untuk semua percobaan dengan tujuan membiarkan *plume* mengalami kenaikan (*rising*) dengan bebas serta mengurangi pengaruh dari permukaan air.

Pada pembuatan model pengukuran *initial dilution outfall* dilakukan suatu tahap penyesuaian parameter-parameter dalam model dengan kondisi nyata di lapangan. Kalibrasi yang dilakukan adalah berdasarkan data-data parameter percobaan sebelumnya, dengan membandingkan data hasil pengukuran dari model yang telah dibuat dengan hasil pengukuran model eksperimen Lee & Cheung (1991). Di dalam eksperimennya, Lee & Cheung (1991) melakukan pengukuran *dilution* menggunakan model *outfall* dengan *port* atau *nozzle* mengarah vertikal membentuk sudut 90° terhadap arah arus *ambient*, pada zona *buoyancy dominated near field* (BDNF) dan *buoyancy dominated far field* (BDFF). Harga *initial dilution* ditentukan dari temperatur *excess* ($T - T_a$) sepanjang arah longitudinal lintasan *plume* dengan dipengaruhi oleh arus yang lemah, kecepatan *discharge* (u_d), *flow rate* (Q), serta kedalaman air (H).

Dilakukan sebanyak 30 kali percobaan untuk mendapatkan data temperatur *excess* (T) kalibrasi proses pelarutan dan pencampuran *discharge* sepanjang lintasan *plume* di laboratorium dengan parameter awal pendesainan yang sesuai untuk tiap-tiap kecepatan arus (u_a), kecepatan *discharge* (u_d) dan temperatur *discharge* (T_d) oleh percobaan Lee & Cheung (1991). Sehingga, didapatkan data percobaan hasil kalibrasi pada tabel 4.1.

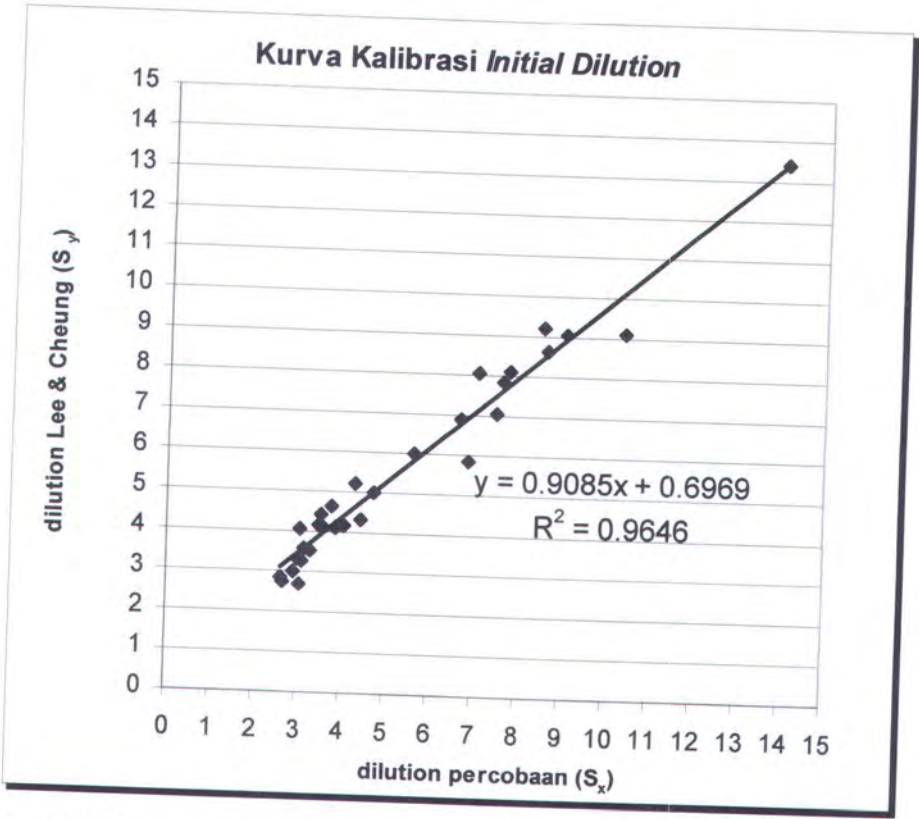
Tabel 4.1 Data hasil kalibrasi percobaan *ocean outfall* di laboratorium.

Run No	Discharge Temperature (°C)	z (m)	Temperatur Excess (T) Lee & Cheung (°C)	Temperatur Excess (T) perc. (°C)	Dilusi percobaan	Dilusi Lee & Cheung	Perbedaan (%)
1	56,3	0,096	34,7	34,51	4,451	4,323	2,96
2	56,5	0,051	35	35,20	4,043	4,162	2,86
3	58	0,052	36,6	37,30	3,275	3,548	7,69
4	58,8	0,049	37,4	38,40	3,000	3,326	9,80
5	56,8	0,051	35,2	35,60	3,865	4,086	5,41
6	59,1	0,049	36,8	38,10	3,121	3,593	13,14
7	59	0,048	35,6	37,10	3,461	4,162	16,84
8	61,8	0,155	40,8	39,15	3,067	2,667	15,00
9	61,2	0,155	40,2	40,54	2,675	2,750	2,73
10	60,9	0,155	39,8	40,61	2,635	2,819	6,53
11	61,6	0,130	31,9	31,90	9,027	9,027	0,00
12	60,1	0,155	38,8	39,20	2,900	3,009	3,62
13	59,3	0,155	37,8	38,20	3,110	3,240	4,01
14	61,3	0,140	33,7	34,10	5,610	6,018	6,78
15	60,4	0,146	32,3	32,44	7,600	7,854	3,23
16	58,2	0,155	35,6	37,97	3,071	4,054	24,25
17	56,3	0,155	33,6	34,75	4,290	5,204	17,56
18	60,5	0,044	32,9	33,03	6,685	6,872	2,72
19	58,4	0,147	31,7	31,71	8,612	8,629	0,20
20	62,8	0,103	32,5	33,10	7,061	8,047	12,25
21	63,8	0,105	32,6	32,79	7,754	8,091	4,17
22	64,1	0,098	32,1	32,41	8,537	9,205	7,26
23	64,6	0,080	32,2	31,70	10,400	9,100	14,29
24	60,4	0,073	30,6	30,50	14,019	13,417	4,49
25	58,4	0,084	34,7	36,20	3,775	4,646	18,75
26	63,9	0,104	34,3	33,40	6,865	5,852	17,31
27	66,2	0,103	35,8	36,26	4,716	5,000	5,68
28	64,2	0,105	33,3	33,00	7,500	7,059	6,25
29	61,4	0,206	35,7	37,60	3,532	4,427	20,22
30	60,9	0,134	36,2	37,40	3,554	4,088	13,06

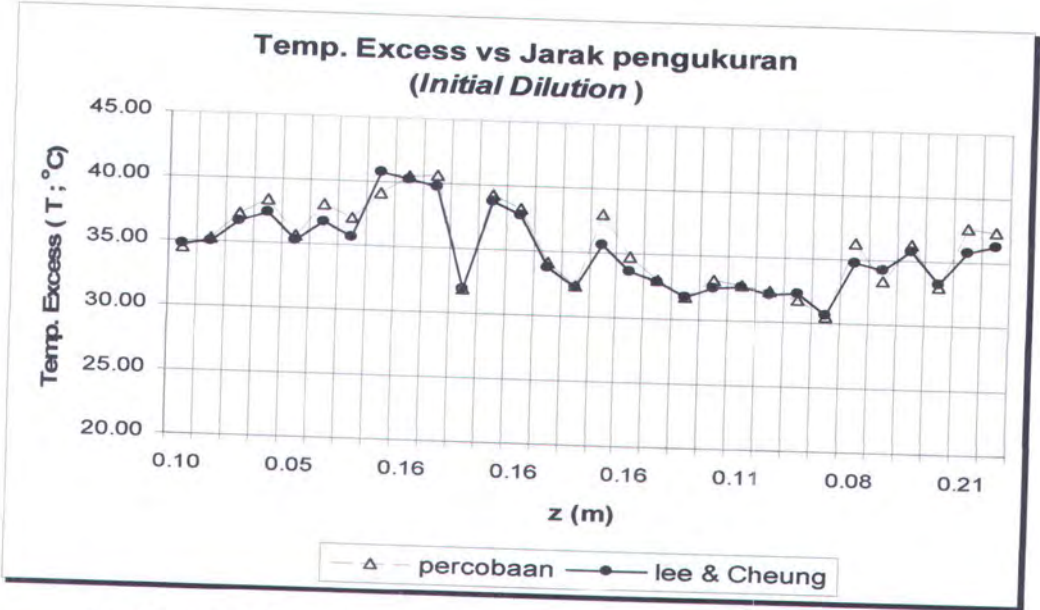
Besarnya nilai *initial dilution* diperoleh dengan cara membandingkan temperatur pada saat *effluent* dibuang dengan temperatur pada saat mengalami pencampuran, sesuai dengan persamaan (2.2) diatas.

Untuk mendapatkan hasil kalibrasi yang tepat, maka dilakukan pengukuran temperatur *excess* (T) pada daerah *established flow* yang mana gerakan *plume* hanya dipengaruhi oleh adanya *initial momentum* belum terjadi gerakan yang menyebabkan proses pencampuran (*mixing process*) akibat adanya *buoyancy*. *Entrainment* pada zona *established flow* adalah

nol karena disebabkan arus yang lemah belum berpengaruh terhadap gerakan *turbulent plume*.



Gambar 4.1 Kalibrasi *initial dilution* percobaan dengan model Lee & Cheung.



Gambar 4.2 Hasil Kalibrasi Pengukuran *Temp. Excess* Percobaan

Zona pembentukan aliran (*Zone of Established Flow*) pada penyebaran *plume* telah dilakukan oleh Baines (1983) pada daerah panjang lintasan *plume* $z_c \geq 5.4d_o$, sehingga pengukuran temperatur *excess* (ΔT) pada percobaan ini menggunakan jarak pengukuran :

$$\begin{aligned} z_c &= 4xd_o \\ &= 5 \times 0.75 \text{ cm} = 3.75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Gambar (4.1) dan (4.2) menunjukkan korelasi antara data hasil pengukuran dengan model percobaan sebelumnya (Lee & Cheung, 1991). Besarnya korelasi $R^2 = 0.9646$ menunjukkan bahwa data pengukuran di laboratorium memiliki kedekatan hasil yang bagus dan positif dengan data percobaan sebelumnya. Koefisien korelasi ini menggambarkan dua data pengukuran yang saling *independent*, yaitu jarak vertikal (z) dengan temperatur *excess* (T). Berdasarkan uji statistik pada lampiran 10, menggunakan pengujian hipotesa (uji-t) untuk homogenitas dua data yang berpasangan, diperoleh bahwa t_{hitung} adalah -2,013 dan lebih kecil dari t_{tabel} yaitu sebesar 2,002 sehingga data kedua percobaan diatas mengandung hipotesa bahwa kedua data tersebut bersifat homogen. Pada tabel 4.1 juga dapat dilihat besarnya perbedaan rata-rata antara *initial dilution* yang diperoleh dari percobaan dengan Lee & Cheung (1991), dimana $\% \text{perbedaan} = ((S_{Lee} - S_{perc.}) / S_{Lee}) \times 100\%$ adalah sebesar 9,28%. Dengan demikian model yang dibuat dapat dilanjutkan untuk percobaan dengan modifikasi-modifikasi yang akan dilakukan, yaitu menggunakan *port* yang membentuk sudut terhadap arah arus.

4.2 Hasil Pemodelan *Initial Dilution* Limbah Panas Di Laboratorium.

Pengukuran *initial dilution* menggunakan metode distribusi temperatur, dilakukan dengan pengukuran temperatur *excess* (T) pada titik-titik *centerline* dari lintasan polutan sepanjang arah longitudinal sumbu x dan pada jarak vertikal z terhadap permukaan air. Pengukuran dilakukan dengan termokopel yang dipasang pada jarak 3 cm, 20 cm dan 50 cm dari ujung *port*.

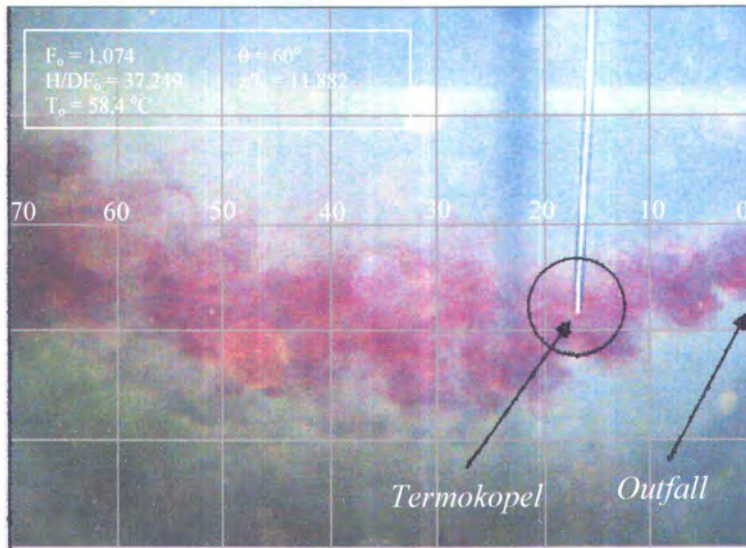
Untuk mengurangi efek dari momentum sumber dan menghasilkan suatu aliran apung (*buoyant plume*), maka model yang digunakan harus memenuhi syarat kondisi batas dimana $Fr < 4$.

Kestabilan dari *discharge* didapat dari harga $\frac{H}{D} > 0.22F_o$, dan dengan membuat geometri awal serta kondisi batas yang ditentukan maka kestabilan *discharge* dari 26 kali percobaan ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data parameter kestabilan *discharge* hasil percobaan.

Run No	Ambient velocity Ua (m/s)	Discharge Temperature (°C)	Perbedaan Densitas Relatif ; $(\rho_a-\rho_o)/\rho_o$	Fo	H/DFo
1	0,0027	56,3	0,012	1,818	444,817
2	0,0052	56,5	0,012	1,809	231,906
3	0,0052	55,6	0,012	1,953	227,630
4	0,0079	58	0,013	1,815	157,226
5	0,0097	55	0,012	1,863	120,476
6	0,0028	58,8	0,014	2,012	450,340
7	0,0032	59,1	0,014	3,283	396,236
8	0,0115	59	0,014	3,375	110,054
9	0,0175	55,6	0,012	3,619	67,639
10	0,003	60,9	0,020	3,204	505,997
11	0,0037	60,5	0,019	3,694	408,161
12	0,0057	60,1	0,019	2,939	263,571
13	0,0069	59,3	0,014	2,665	184,435
14	0,0098	58,2	0,013	2,504	127,227
15	0,0119	56,3	0,012	2,417	100,925
16	0,0138	57,8	0,013	1,972	89,661
17	0,0051	60,5	0,019	3,411	296,117
18	0,0169	58,4	0,013	1,849	74,056
19	0,0223	64,6	0,021	3,403	71,225
20	0,0233	61,4	0,020	2,720	65,566
21	0,0234	60,4	0,019	2,141	64,455
22	0,0262	60,4	0,019	2,112	57,566
23	0,0298	59,9	0,014	2,155	43,169
24	0,0336	58,4	0,013	2,102	37,249
25	0,0266	50,6	0,009	2,885	3,535
26	0,0162	64,2	0,021	3,852	97,584

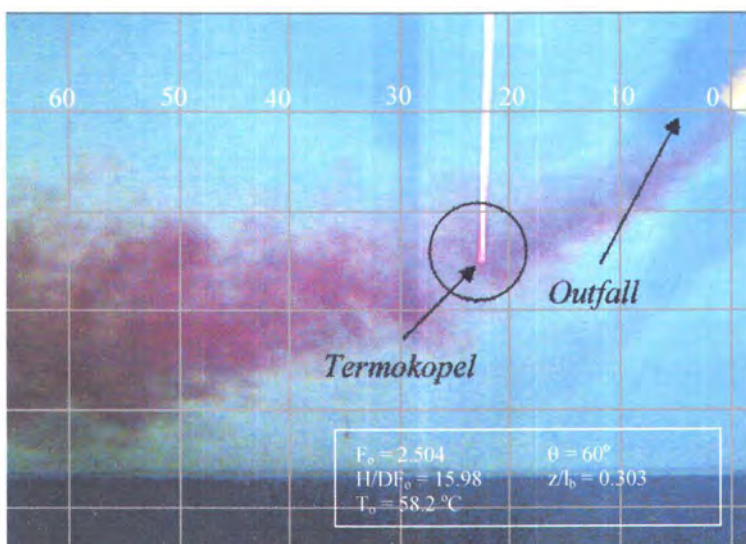
Pada percobaan ke-24, dapat dilihat kondisi batas yang terkecil terhadap kestabilan *discharge* (gambar 4.3). Di kedalaman air yang cukup kecil, momentum *discharge* cukup besar untuk menyebabkan terjadinya *breakdown* atau *instability* dari gerakan *buoyant jet* sehingga timbul zona resirkulasi sebelum mencapai kenaikan *plume* tertentu.



Gambar 4.3 Percobaan dengan kestabilan *discharge* kecil.

Berdasarkan parameter awal yang telah ditunjukkan untuk zona BDNF bahwa $z/l_b \ll 1$, maka dapat dibuktikan bahwa gerakan *plume* yang terjadi didominasi oleh *buoyancy*. Pada zona ini belum terjadi pembelokan (*bent over*), gerakan *rising* dari *plume* hanya adanya *buoyancy* seperti halnya berada di air yang tenang, dan kecepatan arus belum mempengaruhi gerakan penyebaran dari *buoyant plume*.

Salah satu gerakan *buoyant discharge* yang telah dilakukan percobaannya di laboratorium dengan data : $u_d = 7,92 \text{ cm/s}$, $u_a = 0,98 \text{ cm/s}$, $T_d = 58,2 \text{ °C}$, $\theta = 60^\circ$, $T = 37,4 \text{ °C}$, $F = 2,504$, $z/l_b = 1,01 \times 10^{-4}$, $z/l_m = 2,83$ adalah seperti pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bentuk *negative buoyant plume* dengan inklinasi port 60°

Dari gambar tersebut dapat dilihat pada aliran arus *ambient* yang lemah dengan *effluent* yang memiliki temperatur lebih tinggi, terbentuk suatu *negative buoyant* yang mana momentum dari aliran sumber memiliki arah berlawanan dengan buoyansinya. Hal ini disebabkan karena effluen memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan densitas *ambient*, akibat temperatur tinggi pada *discharge*.

Berdasarkan eksperimen, model polutan diatas menunjukkan bahwa gerakan penyebarannya membentuk suatu *plume* yang didominasi oleh pengaruh *buoyancy*. Untuk $z/l_b \ll 1$, gerakan *effluent* adalah berbentuk *buoyant plume* disebabkan buoyansi yang besar akibat pengaruh perbedaan temperatur yang terjadi antara *effluent* dengan *ambient*. Gerakan *rising* ini disebabkan *effluent* memiliki temperatur lebih tinggi yaitu $T_d = 58,2^\circ\text{C}$, sehingga volume ruang dari badan *effluent* menjadi lebih besar dan ringan, hal ini menimbulkan gerakan *discharge* membentuk suatu *plume*.

Dengan mengacu pada analisa dimensi dan persamaan empiris model dilusi Lee & Cheung (1991) yang mana hubungan antara zona BDNF (*Buoyancy Dominated Near Field*) dan BDFF (*Buoyancy Dominated Near Field*) ditunjukkan oleh persamaan (2.13) dan (2.14), maka untuk mendapatkan konstanta *initial dilution*, data dari eksperimen yang telah diperoleh diplotkan ke dalam bentuk $\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}}$ vs z/l_b .

Dalam model pergerakan *plume*, dapat dianalisa bahwa untuk mendapatkan solusi persamaan untuk *initial dilution* dibatasi ke dalam dua kondisi dimana $z/l_b \ll 1$ dan $z/l_b \gg 1$. *Initial dilution* pada penelitian ini dihitung berdasarkan *temperatur excess* yang telah terukur menggunakan persamaan (2.2) dan didapatkan hasil perhitungannya seperti pada lampiran (4), (5) dan (6) untuk seluruh percobaan dengan sudut *port* 30° , 45° dan 60° terhadap arah arus.

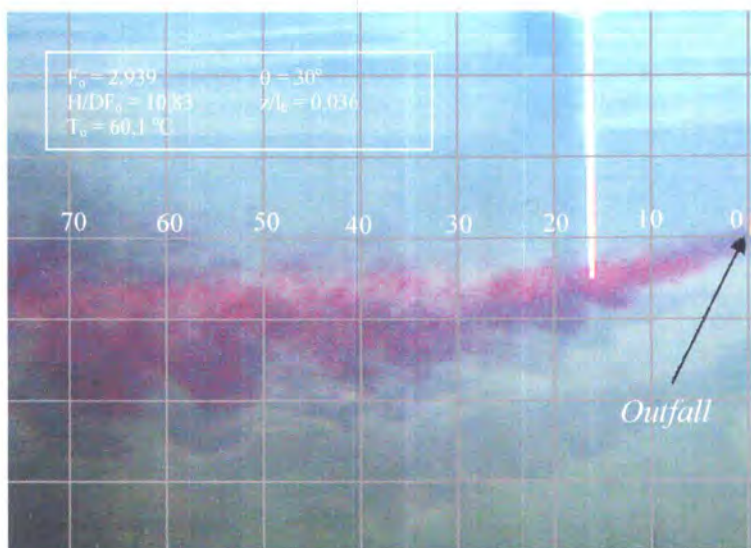
4.3 Evaluasi Pengaruh Sudut *Port* Terhadap Elevasi Maksimum *Plume*.

Pengukuran *initial dilution* melalui eksperimen di laboratorium yang menggunakan *port* mengarah vertikal membentuk sudut 90° telah dilakukan sebelumnya oleh Lee & Cheung (1991) dan Wright (1977). Begitu juga dengan *outfall* mengarah secara horizontal telah banyak dilakukan sebelumnya diantaranya Fan (1967) untuk *horizontal buoyant jet*.

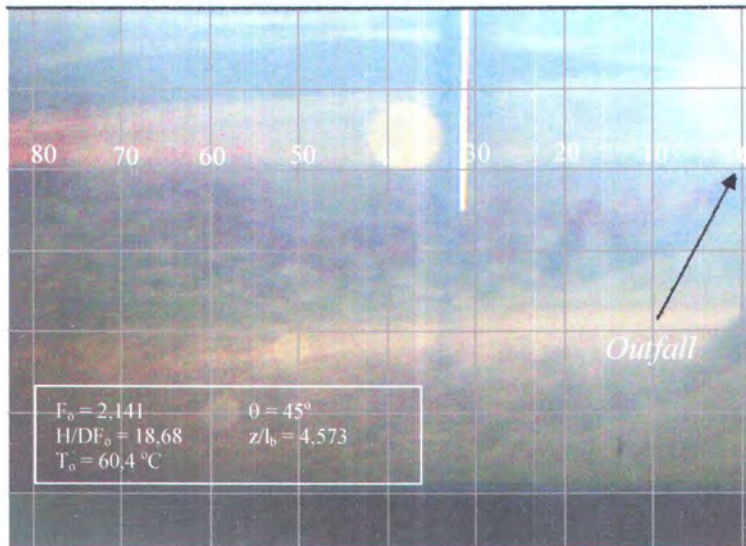
Dengan memodifikasi *port* yang membentuk sudut 30° , 45° dan 60° terhadap arah arus dengan diameter *port* yang sama (D) = 0,75 cm, dilakukan percobaan *initial dilution* pada tiga titik pengukuran yang berbeda menggunakan sensor termokopel dengan tingkat keakuratan pembacaan $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Sensor ini diletakkan pada jarak (x) = 4 cm, 20 cm dan 50 cm terhadap ujung *nozzle* searah sumbu x , dan didapatkan data hasil pengukuran temperatur *excess* sebanyak 26 kali percobaan pada lampiran (1), (2) dan (3).

Seperti yang telah dirumuskan sebelumnya (Fischer, 1977) bahwa perilaku dari *buoyant jet* ditentukan oleh bilangan *Richardson*, $R_o = QB^{1/2}/M^{5/4}$. Hubungan tersebut hanya untuk gerakan *buoyant jet* secara vertikal keatas, percobaannya telah dilakukan oleh (Abraham, 1967; Turner, 1966) untuk jet vertikal dan mendapatkan nilai konstanta antara 1.5 and 2.1.

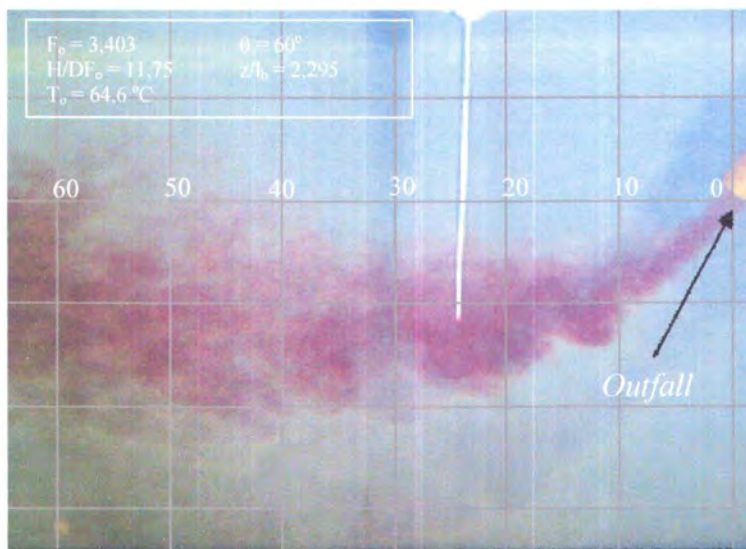
Non vertikal jet dengan arah *plume* membentuk sudut terhadap arah arus untuk positif maupun *negative buoyant* telah diestimasi bahwa sudut *port* (θ) yang memberikan arah gerakan non vertikal pada *discharge* berpengaruh pada perilaku kenaikan *plume* pada elevasi tertentu, yang mana $z \sim (M \sin \theta)^{3/4} / B^{1/2}$. Pada elevasi tertentu, akibat adanya gerakan arus secara horizontal, *plume* mengalami pembelokan (*bent over*) menuju permukaan, sehingga dapat diketahui bahwa gerakan *negative buoyant* memiliki batas elevasi tertentu.



Gambar 4.5 Percobaan *ocean outfall* dengan sudut *port* 30°

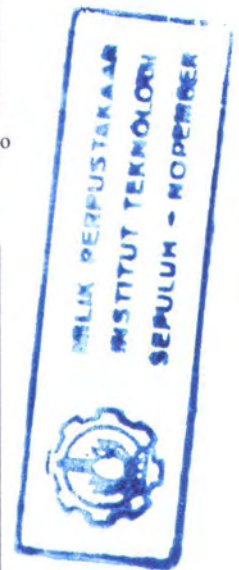


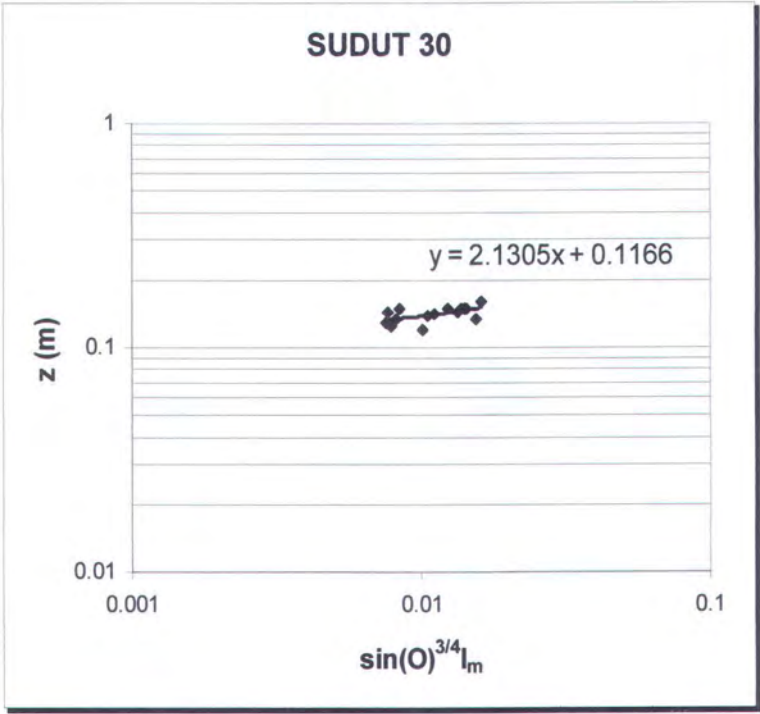
Gambar 4.6 Percobaan *ocean outfall* dengan sudut *port* 45°



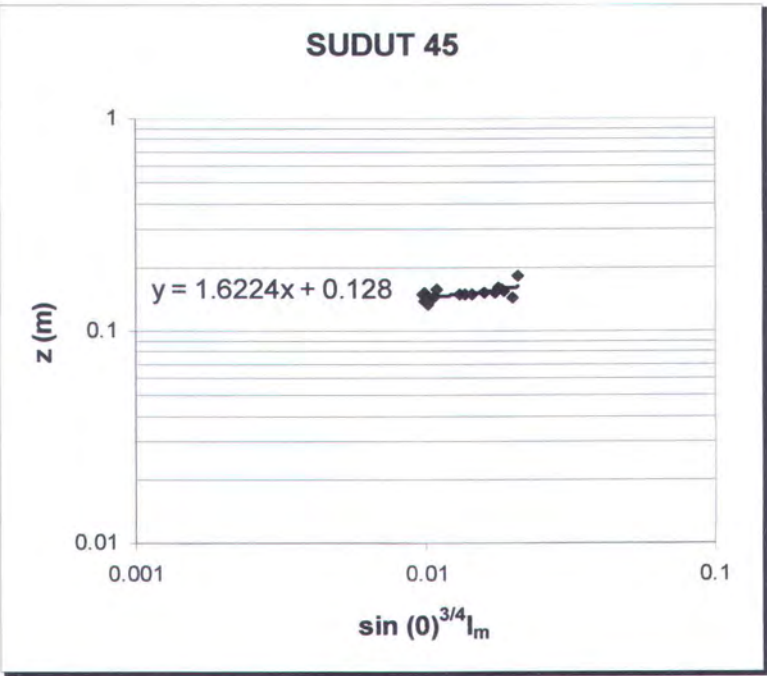
Gambar 4.7 Percobaan *ocean outfall* dengan sudut *port* 60°

Hal ini ditunjukkan hasil percobaannya pada gambar 4.5, gambar 4.6 dan gambar 4.7, bahwa gerakan dari effluen membentuk *negative buoyant* dengan kemiringan *plume* yang berbeda tergantung dari besarnya sudut *port*. Serta dari 26 kali percobaan yang telah dilakukan, dapat dibuktikan bahwa *plume* tidak sampai melakukan pengenceran hingga mencapai dasar *flume tank*, dan telah terjadi pembelokan yang akhirnya elevasi maksimum dari seluruh gerakan *plume* dapat teramati.

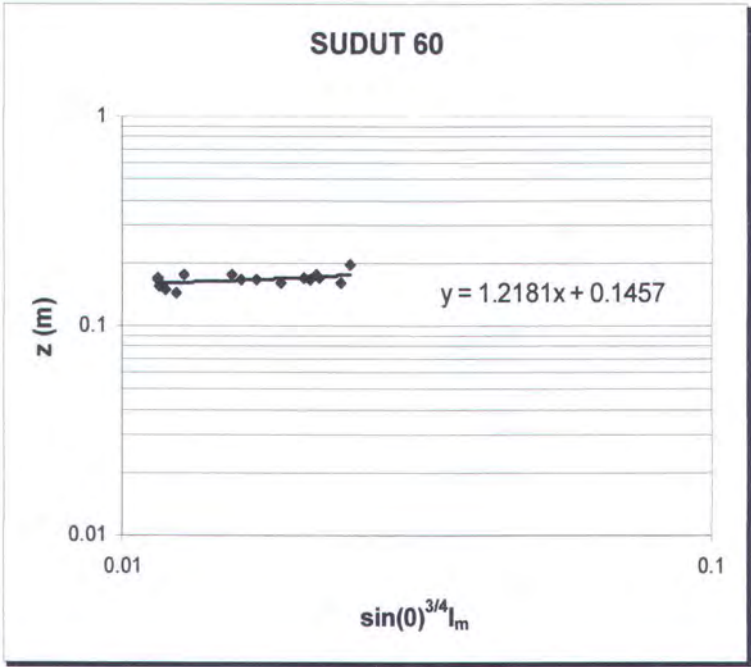




Gambar 4.8 Grafik hubungan antara sudut *port* 30° terhadap elevasi kenaikan *plume* (*z*)



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara sudut *port* 45° terhadap elevasi kenaikan *plume* (*z*)



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara sudut *port* 60° terhadap elevasi kenaikan *plume* (z).

Grafik pada gambar (4.8), (4.9) dan (4.10) diatas menunjukkan bahwa sudut *port* sebesar 30°, 45° dan 60° memberikan konstanta berturut-turut 2,3105; 1,6224 dan 1,2181 untuk vertikal *negative buoyant*, dan diperoleh suatu persamaan empirik yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai konstanta elevasi kenaikan *plume* pada sudut *port* 30°, 45° dan 60°

Zona aliran	Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan elevasi kenaikan <i>plume</i>	Nilai konstanta elevasi (C)	Range dari parameter <i>buoyancy</i>
<i>Buoyancy Dominated Near Field</i>	30°	$z_t = C_1 \frac{(M \sin \theta)^{3/4}}{B^{1/2}}$	2,3105	$\frac{z_1}{l_b} < 1$
	45°	$z_t = C_2 \frac{(M \sin \theta)^{3/4}}{B^{1/2}}$	1,6224	$\frac{z_2}{l_b} < 1$
	60°	$z_t = C_3 \frac{(M \sin \theta)^{3/4}}{B^{1/2}}$	1,2181	$\frac{z_3}{l_b} < 1$

Dari persamaan yang didapat secara fisik, maka kenaikan *plume* pada elevasi tertentu pada *negative buoyant* dapat diketahui, dimana pada inklinasi tertentu akan memiliki tinggi

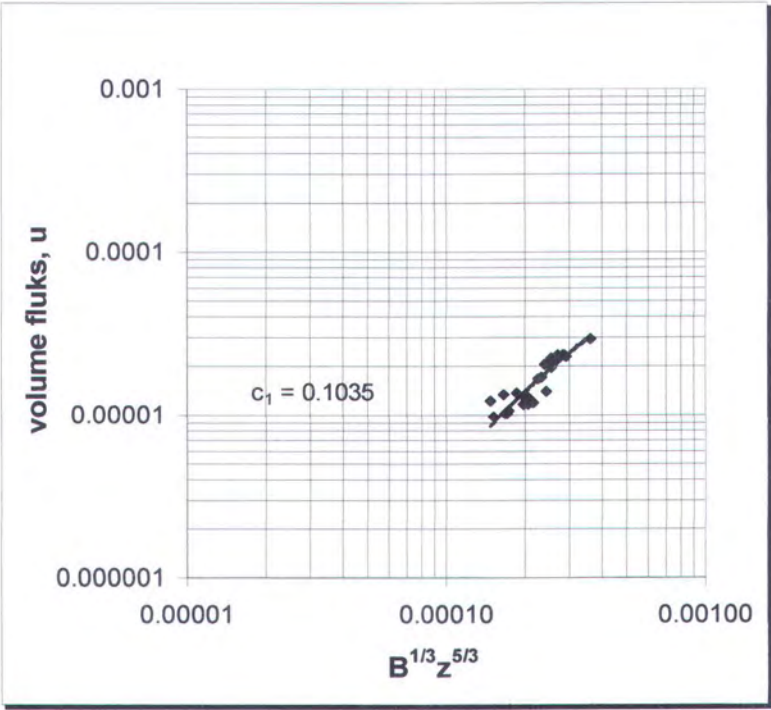
kenaikan *plume* yang tidak sama, bergantung pada besarnya momentum (M), buoyansi (B) dan sudut kemiringan *port* (θ).

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa konstanta elevasi maksimum *buoyant plume* dari buangan limbah panas untuk masing-masing konfigurasi sudut *port* memiliki perbedaan. Untuk sudut *port* 30° diperoleh konstanta elevasi sebesar 2,3105 dan memiliki nilai terbesar dibandingkan dengan konstanta elevasi sudut *port* 45° dan 60° . Ini artinya pada kondisi lingkungan dan karakter *effluent* yang sama, maka kenaikan *plume* maksimum terjadi pada konfigurasi *port* dengan sudut 30° . Hal ini memberikan informasi untuk pendesainan *ocean outfall* dimana dapat menentukan ketinggian maksimum yang paling efektif dalam perencanaan pembuangan polutan, sehingga dapat mencegah timbulnya *boil* dan mengetahui jarak aman kenaikan *plume* yang dapat menimbulkan pencemaran, khususnya di lepas pantai.

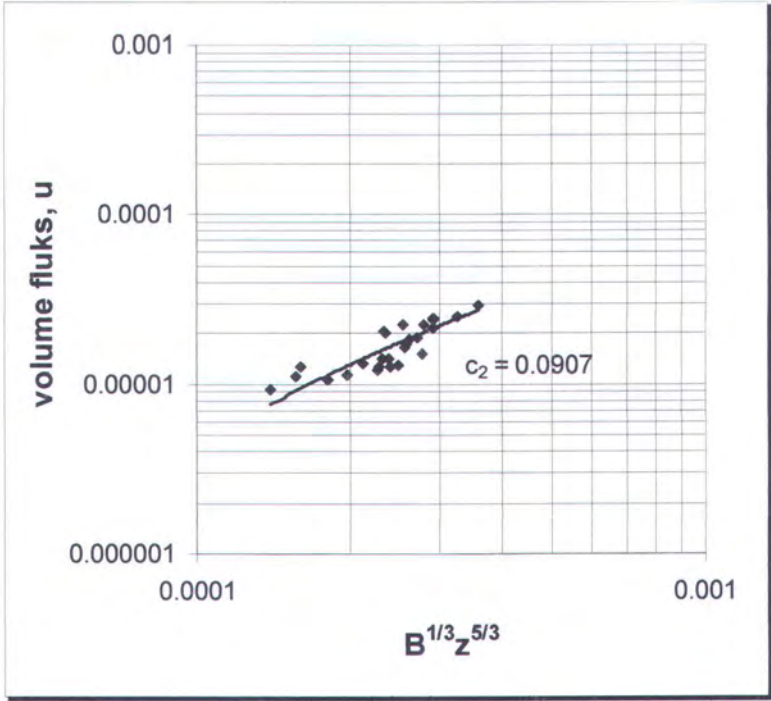
Inklinasi dari desain *port* ini akan memberikan keuntungan apabila pembuangan limbah atau effluen dilakukan pada kondisi laut yang dangkal, sehingga dapat memperbesar dan memaksimalkan harga *initial dilution*. Selain itu juga apabila fluida dari effluen memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan densitas *ambient*, maka akan terjadi gerakan (*falling back*) menuju struktur *outfall* itu sendiri jika mengarah secara vertikal.

4.4 Evaluasi Pengaruh Sudut *Port* Terhadap Volume *Plume*.

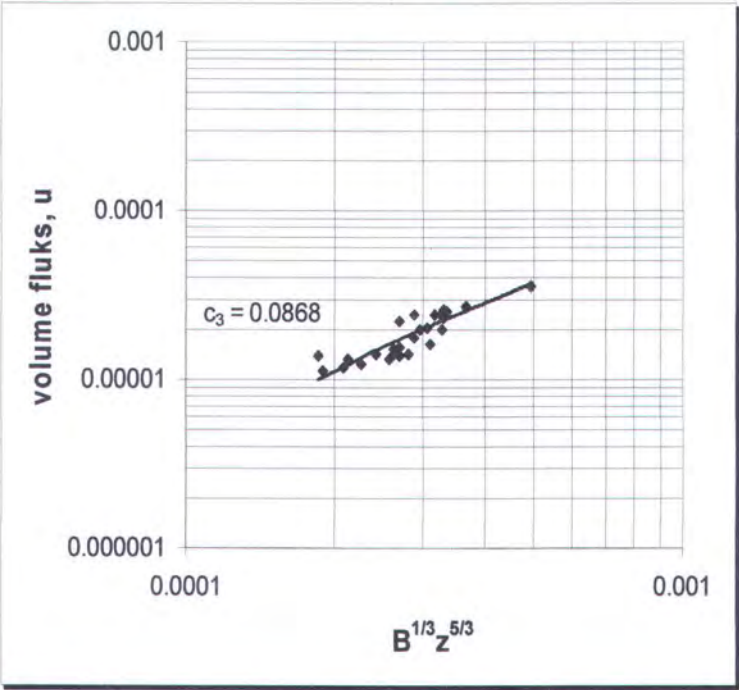
Pure plume dapat dianalisa dengan mudah dibandingkan dengan *pure jet*, hal ini dikarenakan tidak adanya *initial* volume dan momentum fluks, dan bentuknya seperti asap dari api. Hal ini berarti seluruh variabel yang berpengaruh terhadap *plume* hanya buoyansi fluks, kedalaman *discharge* (z) dan viskositas *plume* (ν). Densitas effluen lebih kecil dibandingkan dengan *ambient*, karena pengaruh temperatur yang lebih tinggi $\pm 30^\circ\text{C}$, sehingga kekuatan gaya gravitasi menggantikan momentum dari gerakan *plume*. Pada jarak yang jauh dari sumber, gerakannya adalah turbulen, akibat adanya *entrainment* oleh pengaruh arus yang menyebabkan fluida *ambient* menyusup ke badan *plume*. Berdasarkan eksperimen sebelumnya (Fischer, 1979), *plume* ini memiliki volume yang besarnya dapat ditunjukkan oleh hubungan M , Q , l_Q dan z , yang dirumuskan
$$\mu = [7,0\pi(M/Q)(l_Q/z)](0,107z)^2.$$



Gambar 4.11 Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3}Z^{5/3}$ untuk sudut 30°.



Gambar 4.12 Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3}Z^{5/3}$ untuk sudut 45°.



Gambar 4.13 Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3} z^{5/3}$ untuk sudut 60° .

Tabel 4.4 Nilai konstanta volume fluks pada sudut *port* 30° , 45° dan 60°

Zona aliran	Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan volume fluks	Nilai konstanta volume (c)	Range dari parameter <i>buoyancy</i>
<i>Buoyancy Dominated Near Field</i>	30°	$\mu = c_1 B^{1/3} z^{5/3}$	2,3105	$\frac{z_1}{l_b} < 1$
	45°	$\mu = c_2 B^{1/3} z^{5/3}$	1,6224	$\frac{z_2}{l_b} < 1$
	60°	$\mu = c_3 B^{1/3} z^{5/3}$	1,2181	$\frac{z_3}{l_b} < 1$

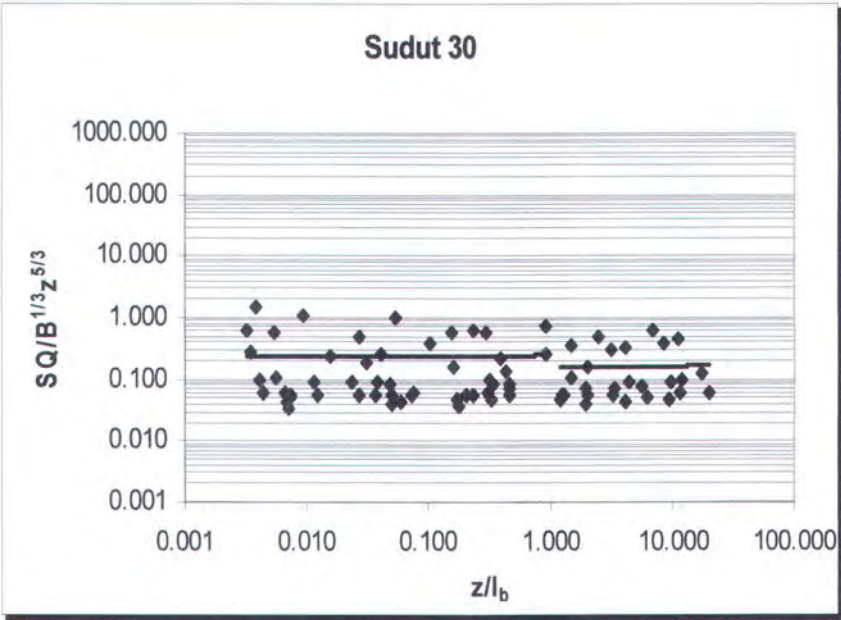
Dari tabel 4.4 diatas dapat diketahui bahwa dari hasil percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan analisa dimensi dan studi percobaan sebelumnya (Fischer, 1977) diperoleh bahwa besarnya volume *plume* (μ) merupakan fungsi dari besarnya buoyansi dan jarak titik pengukuran pada *centerline* (z), dimana, $\mu = cB^{1/3} z^{5/3}$. Telah dibuktikan pada percobaan ini bahwa untuk vertikal *plume* dengan sudut *port* 30° , 45° dan 60° berturut-turut memiliki harga (c) sebesar 0,1035; 0,0907 dan 0,0868. Jadi pada kondisi pengukuran di lapangan, pada point tertentu sepanjang *centerline plume* dapat diukur besarnya volume

plume menggunakan persamaan empiris yang didapat dan besarnya konstanta volume *plume* spesifik terhadap masing-masing sudut *port*.

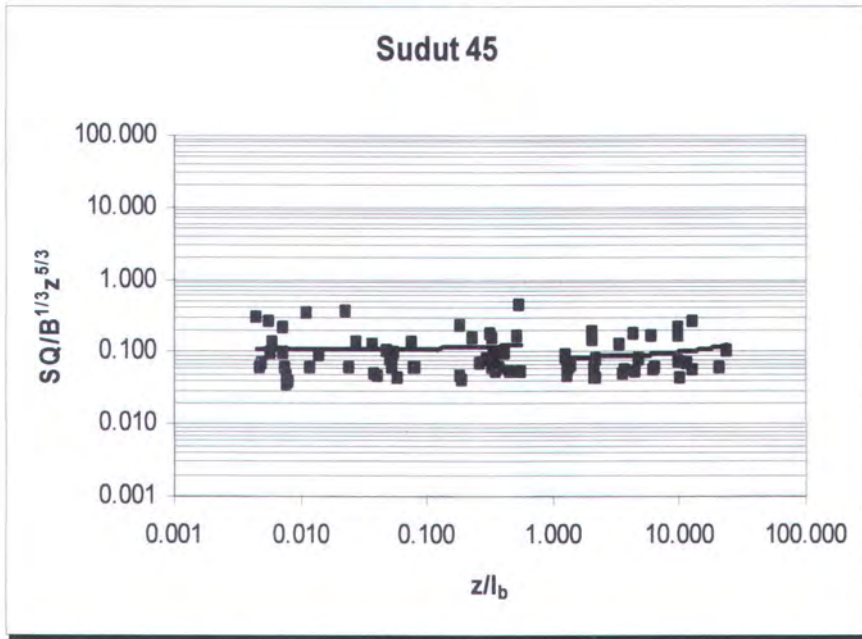
4.5 Hasil Pemodelan *Initial Dilution* Menggunakan Analisa Dimensi

Pada gambar (4.14), (4.15) dan (4.16) dapat dilihat bahwa data *initial dilution* ditentukan pada $z/l_b < 1$, yang mana gerakan *discharge* berada pada zona *buoyancy dominated near field* (BDNF). Pada gambar (4.14), (4.15) dan (4.16) dibawah menunjukkan bahwa bilangan tak berdimensi dilusi diperoleh dari perekaman temperatur *excess* sepanjang sumbu *plume* longitudinal, dan perhitungannya sesuai dengan persamaan (2.2) diatas. *Initial dilution* dirumuskan secara empiris berdasarkan persamaan (2.13) yang telah diperoleh sebelumnya oleh Lee & Cheung (1991), dan diplotkan dengan bilangan tak berdimensi z/l_b .

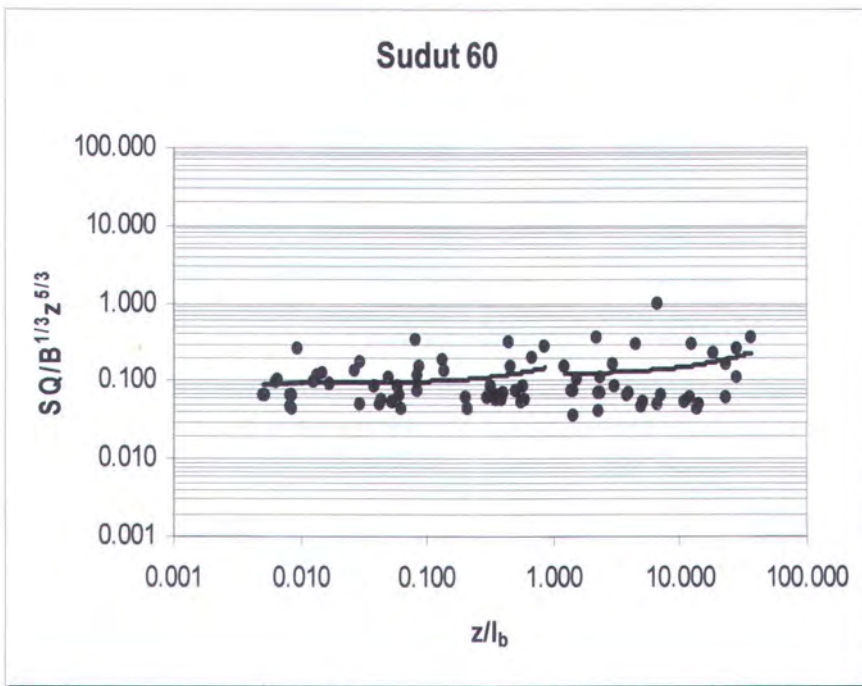
Dan dapat dilihat data *initial dilution* pada zona BDNF, dimana $z/l_b \ll 1$, untuk sudut *port* 30°, 45° dan 60° diperoleh masing-masing nilai C_1 , C_2 , C_3 berturut-turut adalah 0,0130; 0,0301 dan 0,0664. Ketiga nilai tersebut dibandingkan dengan *turbulent plume* dengan gerakan positif *buoyant*, yang diperoleh Lee & Cheung (1991) sebesar 0,10 dan pengukuran yang diperoleh Rouse sebesar 0,091.



Gambar 4.14 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 30°.



Gambar 4.15 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 45°



Gambar 4.16 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 60°

Nilai konstanta *initial dilution* tersebut lebih kecil untuk zona BDNF karena *turbulent plume* menunjukkan gerakan yang berbeda, yaitu membentuk gerakan *negative buoyant* dimana arah momentum berlawanan dengan arah buoyansi. Pada gerakan ini, *effluent*

bergerak kebawah dan memberikan *initial momentum* karena pengaruh tekanan gravitasi dan pada kedalaman tertentu akan mengalami pembelokan atau tekukan (*falling back*) menuju permukaan air.

Untuk $z/l_b \gg 1$, *buoyant plume* mengalami pembelokan secara signifikan dan bergerak secara horizontal oleh pengaruh kecepatan arus (u_a) sampai terjadi kenaikan. Sehingga besarnya konstanta dilusi (C_2) untuk zona BDFF, dimana kecepatan arus telah mempengaruhi gerak *plume*, pada sudut *port* 30° , 45° dan 60° berturut-turut adalah 0,0009; 0,0017; dan 0,0031. Adanya inklinasi pada *port* yang membentuk sudut 30° , 45° dan 60° terhadap arah arus maka jet akan bergerak sepanjang lintasan kemiringan, momentum dari fluks akan berkurang sebanding dengan arah gerak berlawanan dari buoyansi yang besarnya adalah konstan sepanjang lintasan. Hal ini sesuai dengan observasi yang dilakukan oleh Baines (1990).

Tabel 4.5 Nilai konstanta *initial dilution* pada percobaan menggunakan variasi sudut *port* yang berbeda pada zona BDNF.

Zona aliran	Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan <i>dilution plume</i>	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> (C)	Range dari parameter <i>buoyancy</i>
<i>Buoyancy Dominated Near Field (BDNF)</i>	30°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_1 \frac{z}{l_b}$	0.0130	$z/l_b < 1$
	45°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_3 \frac{z}{l_b}$	0.0301	$z/l_b < 1$
	60°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_5 \frac{z}{l_b}$	0.0664	$z/l_b < 1$

Tabel 4.6 Nilai konstanta *initial dilution* pada percobaan menggunakan variasi sudut *port* yang berbeda pada zona BDFF.

Zona aliran	Inklinasi <i>port</i> (θ)	Hubungan <i>dilution plume</i>	Nilai konstanta <i>initial dilution</i> (C)	Range dari parameter <i>buoyancy</i>
<i>Buoyancy Dominated Far Field (BDFF)</i>	30°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_2 \frac{z}{l_b}$	0.0009	$z/l_b > 1$
	45°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_4 \frac{z}{l_b}$	0.0017	$z/l_b > 1$
	60°	$\frac{SQ}{B^{1/3} z^{5/3}} = C_6 \frac{z}{l_b}$	0.0031	$z/l_b > 1$

Dari tabel 4.5 dibawah dapat diketahui besarnya konstanta *initial dilution* pada zona *buoyancy dominated near field* (BDNF) dengan parameter $z/l_b \ll 1$, dan zona *buoyancy dominated far field* (BDFF) dengan parameter $z/l_b \gg 1$ untuk sudut *port* 30° , 45° dan 60° . Model persamaan empiris yang telah didapatkan menjelaskan bagaimana bentuk perilaku *discharge* dengan kemiringan tertentu mempunyai nilai konstanta yang berbeda, hal ini dibuktikan bahwa polutan limbah panas yang dikeluarkan melalui *port* dengan adanya inklinasi dapat memberikan hasil pelarutan yang lebih baik, karena mencegah terjadinya *falling back* menuju sumber *discharge*, khususnya pada *negative buoyant plume*. Selain itu, juga memberikan keuntungan dapat mencegah timbulnya gelembung panas (*boil*) pada permukaan air dengan kedalaman *ambient* yang kecil. Semakin besar sudut inklinasi dari *port* terhadap arah arus maka proses *re-entrainment* semakin besar akibatnya proses pelarutan pada fluks juga akan semakin besar.

Dengan parameter lingkungan, *effluent* dan geometri *outfall* yang sama, ditunjukkan pada rumus yang telah didapatkan, dibuktikan bahwa *outfall* dengan sudut *port* 60° menghasilkan nilai *initial dilution* paling besar dengan konstanta *initial dilution* sebesar 0,0664 pada zona BDNF, dimana $z/l_b < 1$, hal ini memberikan informasi untuk pendesainan *ocean outfall* yang paling baik karena dapat ditentukan konfigurasi *port* yang paling efektif dalam perencanaan pembuangan polutan, khususnya *outfall* di lepas pantai.

4.6 Contoh Aplikasi Model

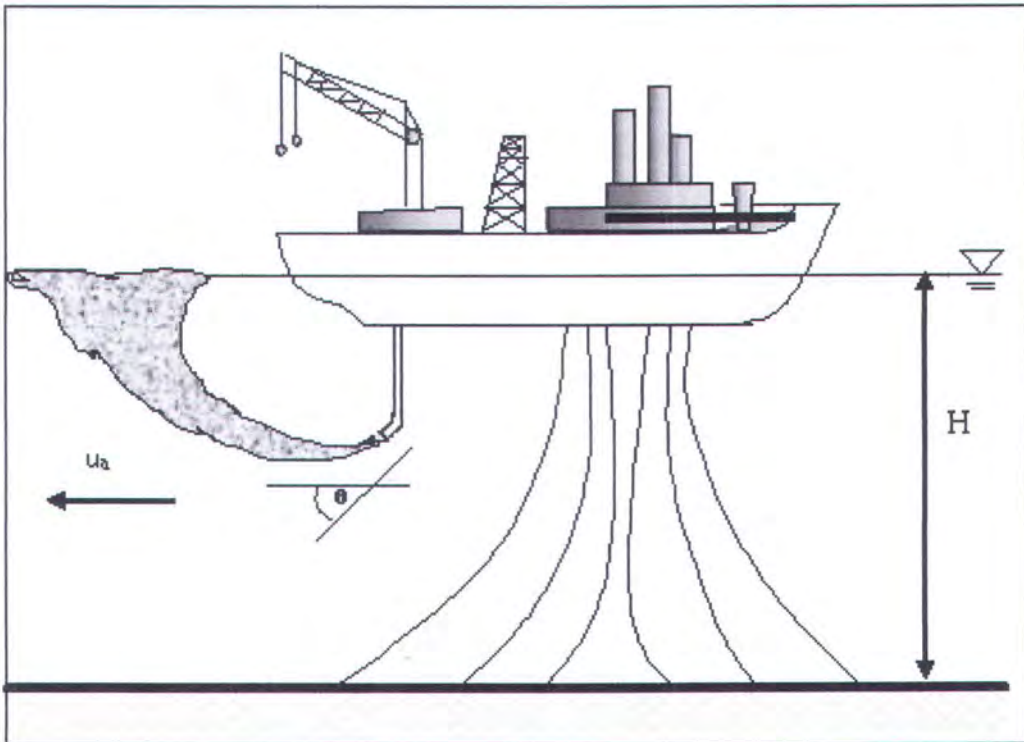
Aplikasi dari model yang telah didapatkan ditunjukkan dalam studi kasus pada pengukuran *outfall* dari Terra Nova FPSO platform. Pada Terra Nova FPSO platform, *produced water* yang dipisahkan dari minyak mentah selama proses produksi akan dialirkan ke *produced water treatment* sebelum dibuang ke laut. Karakteristik dari *produced water* yang diinjeksikan ke laut adalah *warmer*, memiliki densitas yang sangat kecil dibandingkan dengan densitas air laut, dan jika dibuang akan membentuk *buoyant plume*.

Limbah dibuang melalui *single port*, dengan arah *port* horizontal, dan mempunyai diameter 0,305 m. Rata-rata debit *effluent* yang dibuang sebesar $0,2118 \text{ m}^3/\text{s}$ dan dengan kedalaman pembuangan 10 m terhadap permukaan air (Mukhtasor, 2001).

Karakteristik lingkungan pada Terra Nova FPSO *platform* dapat dirinci sebagai berikut :

- Kedalaman air : 95 m
- *Range* temperatur udara : -17,3 sampai 26,8 °C dengan rata-rata 5°C
- Kecepatan angin : 35 km/h
- *Range* temperatur air : -1,7 sampai 15,4 °C

Dengan menggunakan analisa dimensi untuk variasi rasio *length scale*, didapatkan l_Q/l_b adalah 0,01; l_m/l_b sebesar 0,205 dan z/l_b adalah 0,366.



Gambar 4.17 Skematis *negative buoyant jet* dan *plume* dari pembuangan *produced water* pada FPSO (tidak berskala).

Penghitungan besarnya *initial dilution* pada kasus diatas, akan dilakukan pendekatan melalui tiga model persamaan *initial dilution*, yaitu berdasarkan model persamaan untuk sudut 30°, 45° dan 60° yang didapatkan dari hasil percobaan untuk zona BDNF, dan model persamaannya dapat dilihat pada tabel 4.5. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan-persamaan empiris yang telah didapat maka besarnya harga *initial dilution* pada kasus Terra Nova FPSO *platform* dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah.

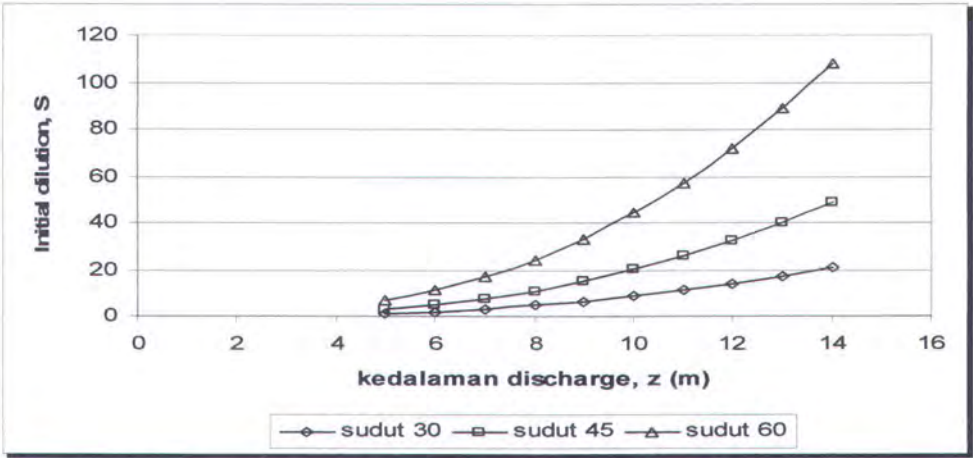
Pada tabel 4.7 dapat diketahui bahwa konfigurasi *port* dengan sudut 60° menghasilkan angka *initial dilution* yang cukup signifikan besar dibandingkan sudut 30° dan 45°, dengan selisih terbesar pada kedalaman 14 m, yaitu 59,18 terhadap sudut 45° dan 87,06 terhadap sudut 30°. Hal ini membuktikan bahwa besarnya angka *initial dilution* sangat dipengaruhi oleh kedalaman yang besar.

Tabel 4.7 Aplikasi hubungan *Initial dilution* dari variasi sudut *port* pada kasus Terra Nova FPSO platform.

Skenario	z (m) D (m)	S (θ = 30°)	S (θ = 45°)	S (θ = 60°)
1	5 (0,483)	1,36	3,15	6,95
2	6 (0,483)	2,21	5,12	11,30
3	7 (0,483)	3,34	7,73	17,05
4	8 (0,483)	4,77	11,03	24,34
5	9 (0,483)	6,52	15,10	33,32
6	10 (0,483)	8,64	20,00	44,13
7	11 (0,483)	11,14	25,79	56,90
8	12 (0,483)	14,05	32,53	71,76
9	13 (0,483)	17,39	40,27	88,84
10	14 (0,483)	21,19	49,07	108,25

Catatan :

- Perbedaan densitas relatif untuk skenario diatas adalah 0.013 (berdasarkan data *discharge* di North Sea).
- u_a rata-rata harian arus *ambient* besarnya 0,056 m/s.



Gambar 4.18 *Initial dilution* fungsi kedalaman *discharge* pada kecepatan arus rata-rata *ambient* pada kasus Terra Nova FPSO platform.

Dari data *initial dilution* pada tabel 4.7 diketahui juga bahwa pada penambahan kedalaman sebesar 1 m, dari tiap-tiap konfigurasi sudut *port* memiliki selisih yang berbeda secara

nyata. Menggunakan sudut *port* 30° , selisih pengenceran yang terjadi antara *range* 0,8-3,8. Pada sudut *port* 45° memiliki selisih pengenceran 1,97-8,8 dan sudut 60° memiliki selisih pengenceran sebesar 4,35-19,41.

Pada gambar 4.18 diketahui bahwa kenaikan tingkat pengenceran dari masing-masing sudut *port* sebanding dengan besarnya kedalaman *discharge*. Dengan kecepatan arus sebesar 0,056 m/s dan diameter *port* sebesar 0,483 m, nilai pengenceran pada kedalaman *discharge* 5-6 m sangat kecil dan belum memberikan perbedaan yang nyata. Akan semakin tampak perbedaannya pada kedalaman diatas 8 m, sehingga dari kondisi tersebut memberikan informasi bahwa dari ketiga konfigurasi *port* tersebut, *port* dengan sudut 60° memberikan dilusi yang paling baik dan efektif.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Cipta Karya
(031) 5941926

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan dan percobaan yang telah dilakukan dalam melakukan pemodelan *initial dilution* limbah panas secara fisik di laboratorium, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Sistem percobaan *ocean outfall* menggunakan distribusi temperatur dapat dilakukan dengan pengukuran temperatur *excess* pada *centerline plume*, dan dengan kalibrasi berdasarkan data-data awal model Lee & Cheung (1991) yang menggunakan port vertikal, didapatkan nilai korelasi $R^2 = 0.9646$, dan rata-rata perbedaan sebesar 9,28%. Angka ini menunjukkan bahwa model percobaan di laboratorium dapat digunakan untuk percobaan-percobaan selanjutnya.
2. Dari konfigurasi *outfall* menggunakan variasi sudut *port* yang berbeda, didapatkan bahwa *outfall* dengan sudut *port* 30° memiliki kenaikan gerak *plume* paling tinggi, dengan konstanta elevasi 2,3105, dan sebaliknya *outfall* dengan sudut *port* 60° menghasilkan *initial dilution* paling besar, dengan konstanta *initial dilution* 0,0664.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini :

1. Mengingat kondisi di lapangan terdapat faktor besarnya gelombang dan faktor angin, maka perlu dilakukan percobaan dengan menggunakan variabel besarnya gaya gelombang dan angin.
2. Percobaan perlu dilanjutkan dengan uji di lapangan untuk mengkaji aspek kimia dan biologisnya.



DAFTAR PUSTAKA

Cipta Karya
(031) 5941926

DAFTAR PUSTAKA

- Dalrymple, R. A. 1985. **Introduction to Physical Models in Coastal Engineering, in Physical Modelling in Coastal Engineering.** R. A. Dalrymple, Ed., A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp 3-9.
- Doneker, R. L. 1996. **User's Manual For CORMIX : A Hydrodynamic Mixing Zone Model And Decision Support System For Pollutant Discharge Into Surface Waters.** Office Of Science And Technology U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC 20460.
- Fischer, H.B., List, E. J., Koh, R. C. H., Imberger, J. Dan Brooks, N. H. 1979. **Mixing in Inland and Coastal Water.** Academic Press. New York. U.S.A.
- Hino, M. 1994. **Water Quality and Its Control.** Departement of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology, O-Okayama, Meguroku, Tokyo-Japan.
- Hughes, S. A. 1993. **Physical Models and Laboratory Techniques In Coastal Engineering.** Advanced Series On Ocean Engineering-Volume 7. World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd, Singapore.
- Jirka, G. 2002. Outfall Database and Information Exchange. **Proceeding of the international conference on marine waste water discharge in Istanbul Sept. 2002.**
- Kim, D.G., Seo, I.W. 2001. Modelling the mixing of heated water discharged from a submerged multiport diffuser. **Journal of Hidraulic Research, vol.38. 2000, no. 4.**
- Lee, J.H.W., Cheung, V. 1991. Mixing of *buoyancy*-dominated jets in a weak current. **Proc. Institute Civil Engineerings, part 2, 1991, march., 113-129.**
- Mukhtasor. 2001. Hydrodynamic Modelling and Ecological Risk-Based Design of Produced Water Discharge From an Offshore Platform. **Thesis submitted May 25, 2001.** Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland.
- Mukhtasor, L.M. Lee, dan J.J. Sharp. 2002. A new approach to modelling initial dilution of *buoyancy*-dominated jet in moving water. **Journal Environmental Engineering, Sci., vol.1. 2002.**
- Roberson, J. A dan Crowe, C. T. 1997. **Engineering Fluids Mechanics,** sixth edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.

- Singh, V.P dan Hager, W.H. 1996. **Environmental Hydraulichs**. Kluwer Academic Publisher.
- Satriyanto. 2002. "Pemodelan Matematis Untuk Perhitungan Difusi Turbulen Pada Suatu Jenis Ocean Outfall". **Tugas Akhir S1**. Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.
- Wright, S.J. 1977. Effect of *ambient* crossflows and density stratification on the characteristic behavior of round turbulent buoyant jets. **Report no. KH-R-36 W.M. Keck Laboratory of Hidraulichs and Water Resources**. California Institute of Technology, Passdena California.



LAMPIRAN

Cipta Karya
(031) 5941926

Lampiran 1 Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 1

Perc. ke	Discharge Temperature (°C)	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m³/s)	Momentum M (m⁴/s²)	Buoyancy B (m⁴/s³)	Z1	Z2	Z3	Temperature excess sudut 30 (°C)	Temperature excess sudut 45 (°C)	Temperature excess sudut 60 (°C)
							$\theta = 30^\circ$ (m)	$\theta = 45^\circ$ (m)	$\theta = 60^\circ$ (m)			
1	56.3	5.59	0.0027	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	0.109	0.12	0.13	37.8	34	32.8
2	56.5	5.59	0.0052	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	0.11	0.13	0.14	38	35.2	34.4
3	55.6	5.61	0.0052	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	0.114	0.1	0.12	37	34.5	33.6
4	58	5.77	0.0079	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	0.124	0.135	0.145	37.8	35.8	34.6
5	55	5.57	0.0097	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	0.104	0.115	0.125	37.2	35.1	33.8
6	58.8	6.5	0.0028	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	0.129	0.14	0.15	38.4	36.8	34.2
7	59.1	10.57	0.0032	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	0.13	0.115	0.125	36.2	34.8	33.8
8	59	10.75	0.0115	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	0.129	0.14	0.15	36.6	35.8	35.1
9	55.6	10.75	0.0175	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	0.124	0.135	0.145	38.8	36.2	33.6
10	60.9	10.75	0.003	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	0.114	0.125	0.135	38.6	37.5	35.6
11	60.5	10.75	0.0037	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	0.13	0.125	0.135	38	38.5	33.8
12	60.1	9.71	0.0057	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	0.121	0.132	0.142	38.2	37.4	36.4
13	59.3	8.67	0.0069	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	0.119	0.13	0.14	37.6	35.6	33.6
14	58.2	7.92	0.0098	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	0.1	0.13	0.15	39.2	34.2	33.5
15	56.3	7.36	0.0119	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	0.11	0.133	0.143	37.2	34.8	33.9
16	57.8	5.61	0.0138	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	0.124	0.135	0.145	36.1	35.2	36.4
17	60.5	10.75	0.0051	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	0.129	0.115	0.143	38.2	39.2	37.5
18	58.4	5.63	0.0169	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	0.124	0.135	0.145	37.2	35.4	35
19	64.6	11	0.0223	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	0.119	0.13	0.14	38.5	38.4	35.8
20	61.4	8.38	0.0233	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	0.12	0.131	0.141	37.8	37.8	34.8
21	60.4	6.57	0.0234	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	0.119	0.13	0.14	38.4	35.4	35.6
22	60.4	6.43	0.0262	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	0.12	0.122	0.132	36.6	35.8	35.6
23	59.9	6.43	0.0298	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	0.119	0.13	0.14	37.6	36.9	34.7
24	58.4	6.6	0.0336	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	0.117	0.1	0.12	35.2	35.8	35
25	50.6	6.64	0.0266	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	0.11	0.115	0.125	35.8	35	34.2
26	64.2	12.58	0.0162	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	0.14	0.14	0.17	35.8	38.5	35.8

Lampiran 3 Data temperatur excess hasil percobaan pada sensor 3

Perc. ke	Discharge Temperature (°C)	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m³/s)	Momentum M (m⁴/s²)	Buoyancy B (m⁴/s³)	Z1	Z2	Z3	Temperature excess sudut 30 (°C)	Temperature excess sudut 45 (°C)	Temperature excess sudut 60 (°C)
							$\theta = 30^\circ$ (m)	$\theta = 45^\circ$ (m)	$\theta = 60^\circ$ (m)			
1	56.3	5.59	0.0027	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	0.055	0.115	0.08	33	30	32.4
2	56.5	5.59	0.0052	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	0.089	0.125	0.12	27.8	31.6	32.4
3	55.6	5.61	0.0052	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	0.059	0.095	0.09	34.4	33.2	31.8
4	58	5.77	0.0079	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	0.07	0.13	0.125	30.6	29.6	30.5
5	55	5.57	0.0097	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	0.074	0.11	0.105	29.4	32.2	31
6	58.8	6.5	0.0028	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	0.099	0.135	0.1	27	31.6	30.6
7	59.1	10.57	0.0032	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	0.074	0.11	0.105	29	30.8	31
8	59	10.75	0.0115	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	0.065	0.135	0.13	31.1	31	28.2
9	55.6	10.75	0.0175	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	0.094	0.13	0.125	28	34	32
10	60.9	10.75	0.003	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	0.084	0.12	0.115	30	30.2	30
11	60.5	10.75	0.0037	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	0.099	0.12	0.115	26	27.6	30.5
12	60.1	9.71	0.0057	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	0.09	0.127	0.122	30	32.2	30
13	59.3	8.67	0.0069	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	0.089	0.125	0.12	29	31.6	29.6
14	58.2	7.92	0.0098	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	0.08	0.116	0.111	34	31.4	30.8
15	56.3	7.36	0.0119	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	0.092	0.128	0.123	31.2	32	32.9
16	57.8	5.61	0.0138	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	0.094	0.13	0.125	31	32	30.2
17	60.5	10.75	0.0051	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	0.074	0.11	0.105	34.2	30.2	29
18	58.4	5.63	0.0169	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	0.094	0.13	0.125	33.8	30	31.2
19	64.6	11	0.0223	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	0.089	0.125	0.12	31.4	32.8	30.3
20	61.4	8.38	0.0233	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	0.09	0.126	0.121	30	32.2	33
21	60.4	6.57	0.0234	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	0.089	0.125	0.12	30.6	30.6	33.5
22	60.4	6.43	0.0262	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	0.081	0.117	0.112	27.4	28	32
23	59.9	6.43	0.0298	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	0.089	0.125	0.12	27.2	30.2	33
24	58.4	6.6	0.0336	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	0.087	0.1	0.118	30	31.6	31.8
25	50.6	6.64	0.0266	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	0.06	0.07	0.105	31	31.8	30
26	64.2	12.58	0.0162	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	0.09	0.1	0.13	30.2	34.8	30.2

Lampiran 4 Pengukuran *Initial Dilution* Pada titik $x_1 = 4\text{ cm}$

Perc. ke	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	Dilusi (S) sudut 30	Dilusi (S) sudut 45	Dilusi (S) sudut 60
1	0.0027	5.59	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	2.927	4.845	6.109
2	0.0052	5.59	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	2.888	4.043	4.565
3	0.0052	5.61	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	3.114	4.349	5.074
4	0.0079	5.77	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	3.104	3.921	4.656
5	0.0097	5.57	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	2.978	3.884	4.786
6	0.0028	6.5	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	3.000	3.558	5.100
7	0.0032	10.57	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	3.863	4.682	5.518
8	0.0115	10.75	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	3.667	4.053	4.464
9	0.0175	10.75	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	2.585	3.425	5.074
10	0.003	10.75	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	3.144	3.516	4.419
11	0.0037	10.75	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	3.296	3.136	5.768
12	0.0057	9.71	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	3.190	3.467	3.890
13	0.0069	8.67	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	3.309	4.203	5.759
14	0.0098	7.92	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	2.727	5.000	5.660
15	0.0119	7.36	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	3.122	4.258	4.930
16	0.0138	5.61	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	3.747	4.229	3.610
17	0.0051	10.75	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	3.230	2.936	3.473
18	0.0169	5.63	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	3.356	4.194	4.441
19	0.0223	11	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	3.534	3.569	4.789
20	0.0233	8.38	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	3.458	3.458	5.030
21	0.0234	6.57	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	3.157	4.472	4.351
22	0.0262	6.43	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	3.833	4.237	4.351
23	0.0298	6.43	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	3.372	3.644	4.877
24	0.0336	6.6	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	4.314	3.974	4.441
25	0.0266	6.64	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	2.947	3.294	3.733
26	0.0162	12.58	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	4.737	3.495	4.737

Lampiran 5 Pengukuran *Initial Dilution* pada titik $x_2 = 20\text{ cm}$

Perc. ke	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	Dilusi (S) sudut 30	Dilusi (S) sudut 45	Dilusi (S) sudut 60
1	0.0027	5.59	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	3.903	3.903	6.386
2	0.0052	5.59	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	3.877	4.879	4.288
3	0.0052	5.61	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	4.281	4.724	6.089
4	0.0079	5.77	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	3.725	4.319	6.208
5	0.0097	5.57	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	5.583	4.786	6.091
6	0.0028	6.5	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	4.935	3.923	4.935
7	0.0032	10.57	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	4.754	7.357	6.438
8	0.0115	10.75	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	6.160	6.160	5.310
9	0.0175	10.75	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	3.079	3.914	5.480
10	0.003	10.75	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	4.671	4.419	4.671
11	0.0037	10.75	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	4.486	6.729	9.788
12	0.0057	9.71	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	5.500	3.467	4.691
13	0.0069	8.67	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	3.888	4.574	12.958
14	0.0098	7.92	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	3.333	7.500	6.667
15	0.0119	7.36	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	4.845	4.845	5.018
16	0.0138	5.61	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	4.774	6.435	12.333
17	0.0051	10.75	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	4.141	8.282	11.536
18	0.0169	5.63	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	4.871	4.441	7.947
19	0.0223	11	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	8.667	4.919	7.913
20	0.0233	8.38	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	4.812	4.256	5.724
21	0.0234	6.57	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	6.571	7.000	5.111
22	0.0262	6.43	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	4.667	4.735	5.750
23	0.0298	6.43	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	6.745	7.205	5.870
24	0.0336	6.6	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	7.190	4.719	5.033
25	0.0266	6.64	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	4.667	3.733	9.333
26	0.0162	12.58	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	7.826	4.286	7.826

Lampiran 6 Pengukuran *Initial Dilution* Pada Titik $x_3 = 50\text{ cm}$.

Perc. ke	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	Dilusi (S) sudut 30	Dilusi (S) sudut 45	Dilusi (S) sudut 60
1	0.0027	5.59	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	5.854	15.611	6.690
2	0.0052	5.59	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	12.304	8.324	6.738
3	0.0052	5.61	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	4.419	5.480	7.611
4	0.0079	5.77	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	12.417	21.286	12.957
5	0.0097	5.57	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	22.333	6.700	9.571
6	0.0028	6.5	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	30.600	9.000	12.750
7	0.0032	10.57	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	38.625	11.885	11.036
8	0.0115	10.75	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	10.621	11.000	17.111
9	0.0175	10.75	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	8.839	4.724	7.211
10	0.003	10.75	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	18.167	16.350	18.167
11	0.0037	10.75	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	40.375	17.000	14.043
12	0.0057	9.71	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	17.722	7.975	17.722
13	0.0069	8.67	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	38.875	9.147	22.214
14	0.0098	7.92	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	5.172	9.375	11.538
15	0.0119	7.36	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	9.367	7.395	5.979
16	0.0138	5.61	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	10.571	7.789	14.800
17	0.0051	10.75	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	5.383	16.150	40.375
18	0.0169	5.63	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	5.393	16.778	10.067
19	0.0223	11	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	11.375	7.913	17.333
20	0.0233	8.38	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	18.444	8.300	6.917
21	0.0234	6.57	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	13.417	13.417	6.075
22	0.0262	6.43	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	12.385	11.500	8.474
23	0.0298	6.43	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	26.417	15.850	6.604
24	0.0336	6.6	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	16.778	8.882	8.389
25	0.0266	6.64	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	8.000	6.222	12.444
26	0.0162	12.58	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	18.000	5.455	18.000

Lampiran 7 Tabel sifat-sifat fisik air (Roberson dan Crowe, 1997)

TABLE A.5 APPROXIMATE PHYSICAL PROPERTIES OF WATER* AT ATMOSPHERIC PRESSURE					
Temperature	Density	Specific weight	Dynamic viscosity	Kinematic viscosity	Vapor pressure
	kg/m ³	N/m ³	N • s/m ²	m ² /s	N/m ² abs.
0°C	1000	9810	1.79×10^{-3}	1.79×10^{-6}	611
5°C	1000	9810	1.51×10^{-3}	1.51×10^{-6}	872
10°C	1000	9810	1.31×10^{-3}	1.31×10^{-6}	1230
15°C	999	9800	1.14×10^{-3}	1.14×10^{-6}	1700
20°C	998	9790	1.00×10^{-3}	1.00×10^{-6}	2340
25°C	997	9781	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}	3170
30°C	996	9771	7.97×10^{-4}	8.00×10^{-7}	4250
35°C	994	9751	7.20×10^{-4}	7.24×10^{-7}	5630
40°C	992	9732	6.53×10^{-4}	6.58×10^{-7}	7380
50°C	988	9693	5.47×10^{-4}	5.53×10^{-7}	12,300
60°C	983	9643	4.66×10^{-4}	4.74×10^{-7}	20,000
70°C	978	9594	4.04×10^{-4}	4.13×10^{-7}	31,200
80°C	972	9535	3.54×10^{-4}	3.64×10^{-7}	47,400
90°C	965	9467	3.15×10^{-4}	3.26×10^{-7}	70,100
100°C	958	9398	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}	101,300
	slugs/ft ³	lbf/ft ³	lbf-s/ft ²	ft ² /s	psia
40°F	1.94	62.43	3.23×10^{-5}	1.66×10^{-5}	0.122
50°F	1.94	62.40	2.73×10^{-5}	1.41×10^{-5}	0.178
60°F	1.94	62.37	2.36×10^{-5}	1.22×10^{-5}	0.256
70°F	1.94	62.30	2.05×10^{-5}	1.06×10^{-5}	0.363
80°F	1.93	62.22	1.80×10^{-5}	0.930×10^{-5}	0.506
100°F	1.93	62.00	1.42×10^{-5}	0.739×10^{-5}	0.949
120°F	1.92	61.72	1.17×10^{-5}	0.609×10^{-5}	1.69
140°F	1.91	61.38	0.981×10^{-5}	0.514×10^{-5}	2.89
160°F	1.90	61.00	0.838×10^{-5}	0.442×10^{-5}	4.74
180°F	1.88	60.58	0.726×10^{-5}	0.385×10^{-5}	7.51
200°F	1.87	60.12	0.637×10^{-5}	0.341×10^{-5}	11.53
212°F	1.86	59.83	0.593×10^{-5}	0.319×10^{-5}	14.70

Lampiran 8 Data percobaan lengkap untuk pemodelan *initial dilution*.

Perc. ke	Discharge Temperature	Kec. discharge Uj (cm/s)	Kec. Arus Ua (m/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	z1/l _b $\theta = 30^\circ$	z2/l _b $\theta = 45^\circ$	z3/l _b $\theta = 60^\circ$	SQ/B ^{1/3} z ^{5/3} $\theta = 30^\circ$	SQ/B ^{1/3} z ^{5/3} $\theta = 45^\circ$	SQ/B ^{1/3} z ^{5/3} $\theta = 60^\circ$
1	56.3	5.59	0.0027	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	0.007	0.008	0.008	0.043	0.060	0.067
2	56.5	5.59	0.0052	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	0.049	0.058	0.063	0.042	0.044	0.044
3	55.6	5.61	0.0052	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	0.059	0.052	0.062	0.044	0.077	0.066
4	58	5.77	0.0079	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	0.178	0.194	0.208	0.037	0.040	0.042
5	55	5.57	0.0097	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	0.324	0.358	0.389	0.048	0.053	0.057
6	58.8	6.5	0.0028	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	0.007	0.008	0.008	0.035	0.037	0.047
7	59.1	10.57	0.0032	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	0.007	0.006	0.006	0.063	0.093	0.095
8	59	10.75	0.0115	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	0.306	0.332	0.355	0.061	0.059	0.058
9	55.6	10.75	0.0175	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	1.190	1.296	1.392	0.048	0.056	0.073
10	60.9	10.75	0.003	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	0.004	0.005	0.005	0.062	0.060	0.066
11	60.5	10.75	0.0037	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	0.012	0.012	0.013	0.058	0.059	0.095
12	60.1	9.71	0.0057	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	0.036	0.039	0.042	0.054	0.051	0.050
13	59.3	8.67	0.0069	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	0.072	0.079	0.085	0.054	0.059	0.072
14	58.2	7.92	0.0098	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	0.202	0.262	0.303	0.057	0.068	0.060
15	56.3	7.36	0.0119	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	0.461	0.558	0.600	0.054	0.054	0.056
16	57.8	5.61	0.0138	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	1.219	1.327	1.426	0.047	0.046	0.035
17	60.5	10.75	0.0051	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	0.027	0.024	0.030	0.054	0.060	0.049
18	58.4	5.63	0.0169	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	1.948	2.121	2.278	0.040	0.043	0.041
19	64.6	11	0.0223	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	1.950	2.131	2.295	0.068	0.059	0.070
20	61.4	8.38	0.0233	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	3.242	3.539	3.809	0.056	0.049	0.063
21	60.4	6.57	0.0234	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	4.186	4.573	4.924	0.045	0.054	0.047
22	60.4	6.43	0.0262	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	6.150	6.252	6.764	0.053	0.057	0.051
23	59.9	6.43	0.0298	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	9.344	10.208	10.993	0.048	0.045	0.053
24	58.4	6.6	0.0336	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	11.585	9.902	11.882	0.062	0.074	0.061
25	50.6	6.64	0.0266	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	20.312	21.235	23.082	0.058	0.060	0.060
26	64.2	12.58	0.0162	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	0.459	0.459	0.557	0.073	0.054	0.053

Perc. ke	Discharge Temperature	Kec. discharge Uj (cm/s)	Kec. Arus Ua (m/s)	Debit Q (m ³ /s)	Momentum M (m ⁴ /s ²)	Buoyancy B (m ⁴ /s ³)	z1/l _b θ = 30°	z2/l _b θ = 45°	z3/l _b θ = 60°	SQ/B ^{1/3} _z ^{5/3} θ = 30°	SQ/B ^{1/3} _z ^{5/3} θ = 45°	SQ/B ^{1/3} _z ^{5/3} θ = 60°
27	56.3	5.59	0.0027	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	0.007	0.008	0.009	0.053	0.045	0.065
28	56.5	5.59	0.0052	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	0.049	0.054	0.054	0.056	0.061	0.053
29	55.6	5.61	0.0052	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	0.048	0.054	0.059	0.084	0.077	0.086
30	58	5.77	0.0079	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	0.172	0.187	0.201	0.046	0.047	0.060
31	55	5.57	0.0097	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	0.339	0.374	0.405	0.083	0.061	0.068
32	58.8	6.5	0.0028	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	0.007	0.008	0.009	0.055	0.038	0.043
33	59.1	10.57	0.0032	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	0.006	0.006	0.007	0.103	0.136	0.104
34	59	10.75	0.0115	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	0.317	0.343	0.367	0.097	0.085	0.065
35	55.6	10.75	0.0175	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	1.238	1.344	1.440	0.054	0.060	0.075
36	60.9	10.75	0.003	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	0.004	0.005	0.005	0.100	0.070	0.066
37	60.5	10.75	0.0037	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	0.011	0.014	0.015	0.091	0.093	0.121
38	60.1	9.71	0.0057	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	0.037	0.041	0.044	0.087	0.048	0.057
39	59.3	8.67	0.0069	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	0.075	0.082	0.088	0.059	0.061	0.152
40	58.2	7.92	0.0098	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	0.232	0.303	0.323	0.055	0.080	0.064
41	56.3	7.36	0.0119	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	0.461	0.419	0.503	0.085	0.099	0.076
42	57.8	5.61	0.0138	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	1.268	1.376	1.534	0.056	0.066	0.105
43	60.5	10.75	0.0051	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	0.023	0.027	0.030	0.092	0.138	0.169
44	58.4	5.63	0.0169	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	2.026	2.199	2.356	0.054	0.043	0.069
45	64.6	11	0.0223	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	2.032	2.213	2.377	0.156	0.077	0.109
46	61.4	8.38	0.0233	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	3.377	3.674	3.944	0.073	0.056	0.067
47	60.4	6.57	0.0234	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	4.361	4.748	5.100	0.087	0.080	0.052
48	60.4	6.43	0.0262	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	5.637	6.508	7.021	0.074	0.059	0.064
49	59.9	6.43	0.0298	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	9.737	11.778	13.898	0.089	0.069	0.043
50	58.4	6.6	0.0336	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	12.080	12.872	14.357	0.096	0.057	0.050
51	50.6	6.64	0.0266	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	17.358	24.005	28.068	0.120	0.056	0.108
52	64.2	12.58	0.0162	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	0.426	0.524	0.573	0.137	0.053	0.084

Perc. ke	Discharge Temperature	Kec. discharge Uj (cm/s)	Kec. Arus Ua (m/s)	Debit Q (m³/s)	Momentum M (m⁴/s²)	Buoyancy B (m⁴/s³)	$z1/l_b$ $\theta = 30^\circ$	$z2/l_b$ $\theta = 45^\circ$	$z3/l_b$ $\theta = 60^\circ$	$SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ $\theta = 30^\circ$	$SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ $\theta = 45^\circ$	$SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ $\theta = 60^\circ$
53	56.3	5.59	0.0027	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	0.003	0.007	22.994	0.268	0.209	0.164
54	56.5	5.59	0.0052	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	0.040	0.056	3.014	0.252	0.097	0.084
55	55.6	5.61	0.0052	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	0.030	0.049	2.958	0.189	0.106	0.161
56	58	5.77	0.0079	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	0.100	0.187	1.244	0.380	0.232	0.151
57	55	5.57	0.0097	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	0.230	0.342	0.456	0.634	0.098	0.152
58	58.8	6.5	0.0028	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	0.005	0.007	18.384	0.563	0.099	0.231
59	59.1	10.57	0.0032	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	0.004	0.006	27.935	1.600	0.254	0.255
60	59	10.75	0.0115	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	0.154	0.320	0.844	0.556	0.170	0.282
61	55.6	10.75	0.0175	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	0.902	1.248	0.139	0.262	0.082	0.133
62	60.9	10.75	0.003	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	0.003	0.005	36.126	0.599	0.298	0.355
63	60.5	10.75	0.0037	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	0.009	0.011	12.289	1.114	0.340	0.302
64	60.1	9.71	0.0057	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	0.027	0.038	4.569	0.492	0.125	0.296
65	59.3	8.67	0.0069	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	0.054	0.076	2.217	1.030	0.138	0.358
67	58.2	7.92	0.0098	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	0.161	0.234	0.688	0.157	0.153	0.203
68	56.3	7.36	0.0119	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	0.386	0.537	0.319	0.220	0.100	0.087
69	57.8	5.61	0.0138	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	0.924	1.278	0.135	0.209	0.090	0.182
70	60.5	10.75	0.0051	4.75E-06	5.10E-07	6.29E-07	0.016	0.023	6.724	0.229	0.354	0.957
71	58.4	5.63	0.0169	2.49E-06	1.40E-07	3.07E-07	1.477	2.042	0.085	0.102	0.185	0.119
72	64.6	11	0.0223	4.86E-06	5.34E-07	6.77E-07	1.459	2.049	0.082	0.355	0.140	0.328
73	61.4	8.38	0.0233	3.70E-06	3.10E-07	4.68E-07	2.431	3.404	0.050	0.486	0.125	0.111
74	60.4	6.57	0.0234	2.90E-06	1.91E-07	3.64E-07	3.130	4.397	0.038	0.307	0.174	0.085
75	60.4	6.43	0.0262	2.84E-06	1.83E-07	3.51E-07	4.151	5.996	0.027	0.329	0.165	0.131
76	59.9	6.43	0.0298	2.84E-06	1.83E-07	3.37E-07	6.988	9.815	0.017	0.607	0.207	0.092
77	58.4	6.6	0.0336	2.91E-06	1.92E-07	3.83E-07	8.614	9.902	0.014	0.394	0.165	0.119
78	50.6	6.64	0.0266	2.95E-06	1.95E-07	2.05E-07	11.079	12.926	0.009	0.434	0.261	0.266
79	64.2	12.58	0.0162	5.55E-06	6.99E-07	8.56E-07	0.295	0.328	0.441	0.583	0.148	0.316

Lampiran 9 Data penghitungan elevasi maksimum pada gerakan *plume*.

Perc. ke	Discharge Temperature (°C)	Kec. Arus Ua (m/s)	Kec. discharge Uj (cm/s)	Debit Q (m³/s)	Momentum M (m⁴/s²)	Buoyancy B (m⁴/s³)	Zmaks	Zmaks	Zmaks	(Sin θ) ^{3/4} L _m	(Sin θ) ^{3/4} L _m	(Sin θ) ^{3/4} L _m
							θ = 30° (m)	θ = 45° (m)	θ = 60° (m)	θ = 30°	θ = 45°	θ = 60°
1	56.3	5.59	0.0027	2.47E-06	1.38E-07	3.11E-07	0.129	0.138	0.155	0.007631	0.009897	0.011522
2	56.5	5.59	0.0052	2.47E-06	1.38E-07	3.14E-07	0.13	0.148	0.165	0.007593	0.009847	0.011464
3	55.6	5.61	0.0052	2.48E-06	1.39E-07	2.73E-07	0.134	0.144	0.145	0.008196	0.010629	0.012375
4	58	5.77	0.0079	2.55E-06	1.47E-07	3.43E-07	0.144	0.153	0.17	0.007618	0.009879	0.011501
5	55	5.57	0.0097	2.46E-06	1.37E-07	2.93E-07	0.124	0.133	0.15	0.00782	0.010141	0.011807
6	58.8	6.5	0.0028	2.87E-06	1.87E-07	4.00E-07	0.149	0.158	0.175	0.008444	0.010951	0.012749
7	59.1	10.57	0.0032	4.67E-06	4.93E-07	6.45E-07	0.15	0.16	0.165	0.01378	0.017871	0.020806
8	59	10.75	0.0115	4.75E-06	5.10E-07	6.42E-07	0.149	0.158	0.175	0.014167	0.018372	0.021389
9	55.6	10.75	0.0175	4.75E-06	5.10E-07	5.58E-07	0.144	0.153	0.17	0.013449	0.017442	0.020306
10	60.9	10.75	0.003	4.75E-06	5.10E-07	7.12E-07	0.134	0.143	0.16	0.015508	0.020111	0.023414
11	60.5	10.75	0.0037	4.75E-06	5.10E-07	5.36E-07	0.15	0.153	0.16	0.012335	0.015997	0.018624
12	60.1	9.71	0.0057	4.29E-06	4.16E-07	6.24E-07	0.141	0.15	0.167	0.011189	0.01451	0.016893
13	59.3	8.67	0.0069	3.83E-06	3.32E-07	5.40E-07	0.139	0.148	0.165	0.01051	0.01363	0.015868
14	58.2	7.92	0.0098	3.50E-06	2.77E-07	4.67E-07	0.12	0.148	0.175	0.010147	0.013159	0.01532
15	56.3	7.36	0.0119	3.25E-06	2.39E-07	4.02E-07	0.149	0.155	0.168	0.014318	0.018568	0.021617
16	57.8	5.61	0.0138	2.48E-06	1.39E-07	2.67E-07	0.16	0.182	0.195	0.016167	0.020966	0.024409

Lampiran 10 Hasil perhitungan uji homogenitas dari data kalibrasi menggunakan SPSS 11 *software*.

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	KAL	5.4070	30	2.79771	.51079
	LEE	5.6092	30	2.58788	.47248

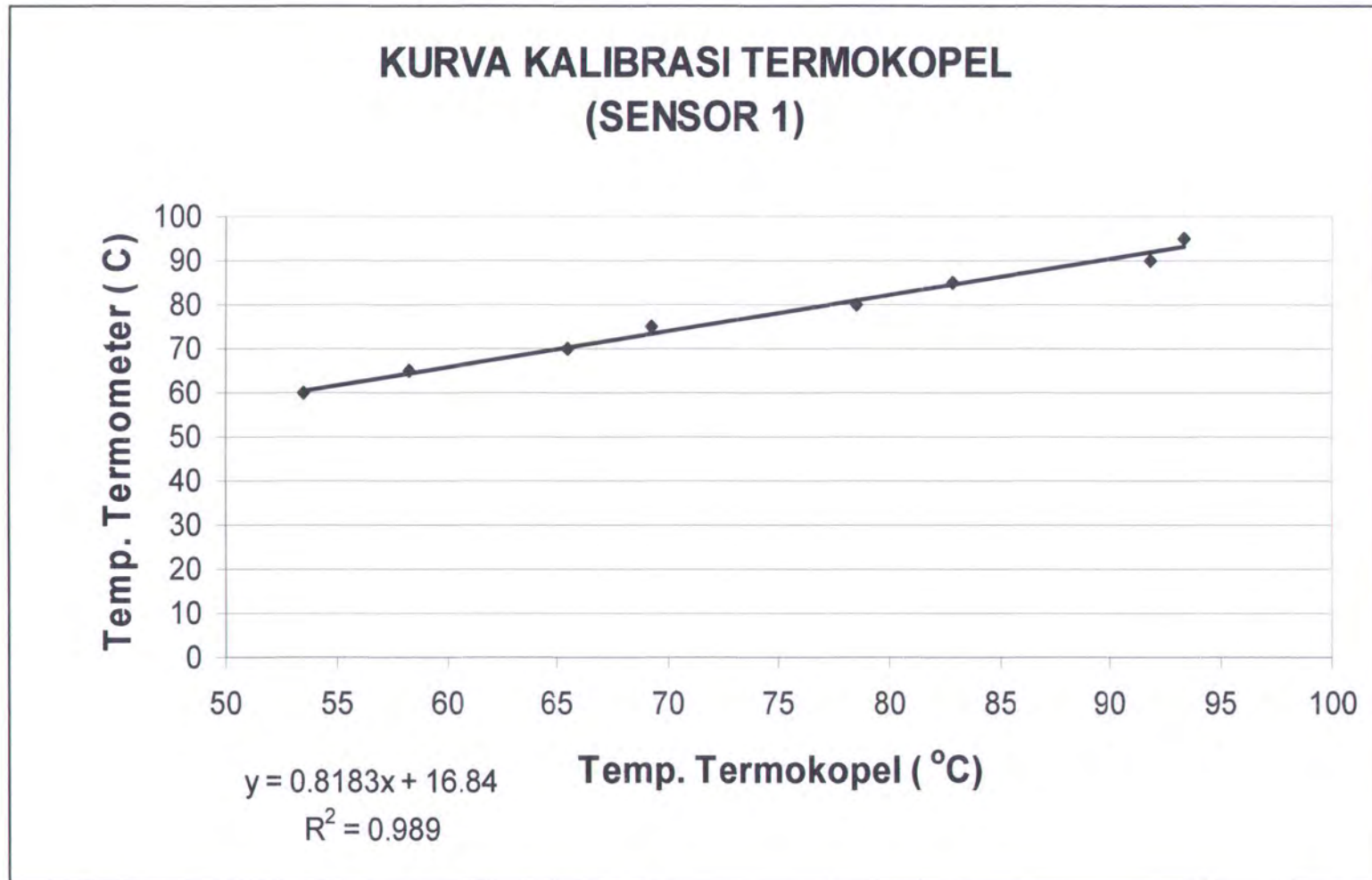
Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	KAL & LEE	30	.982	.000

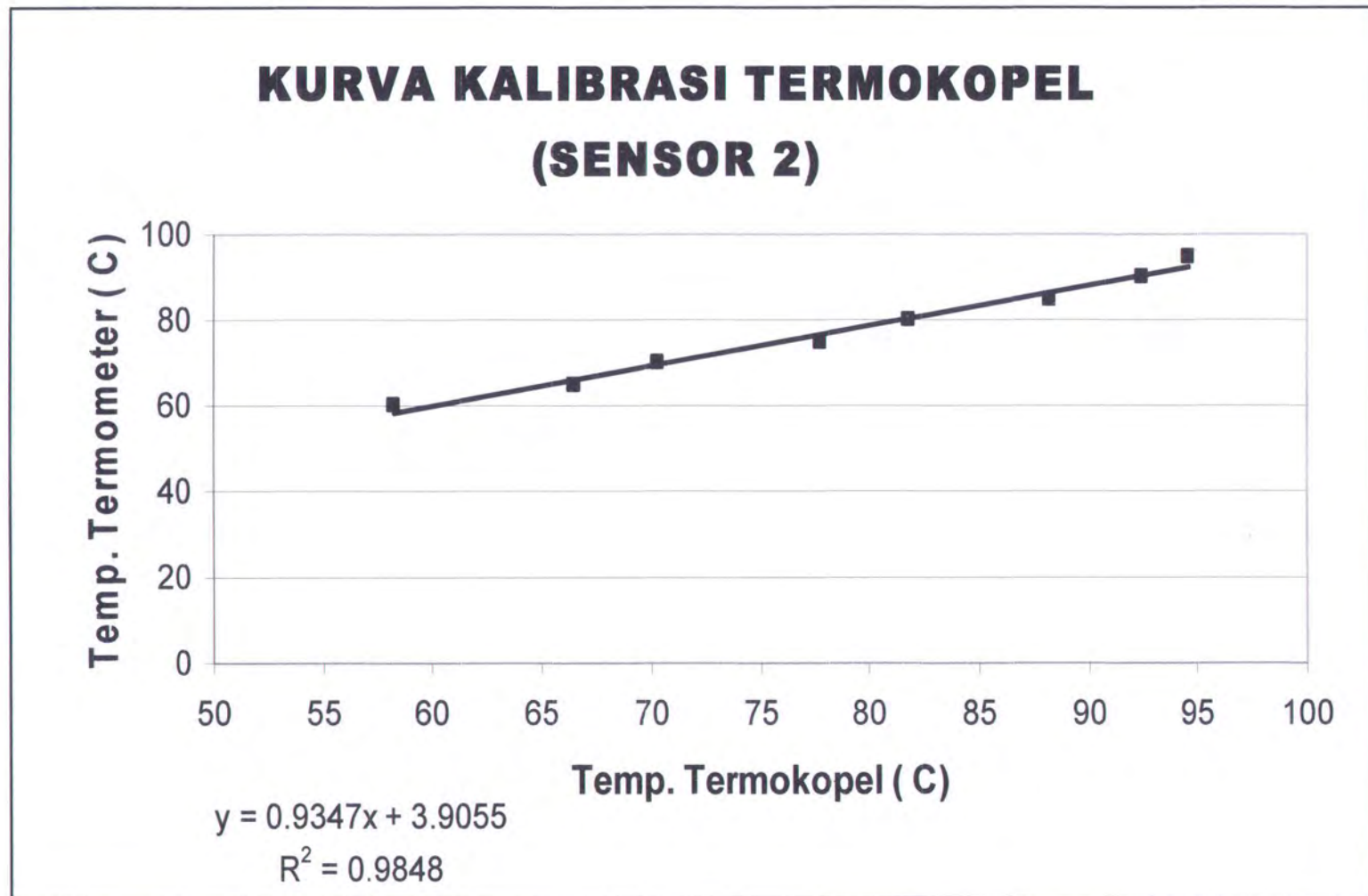
Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	KAL - LEE	-.2021	.55009	.10043	-.4075	.0033	-2.013	29	.054

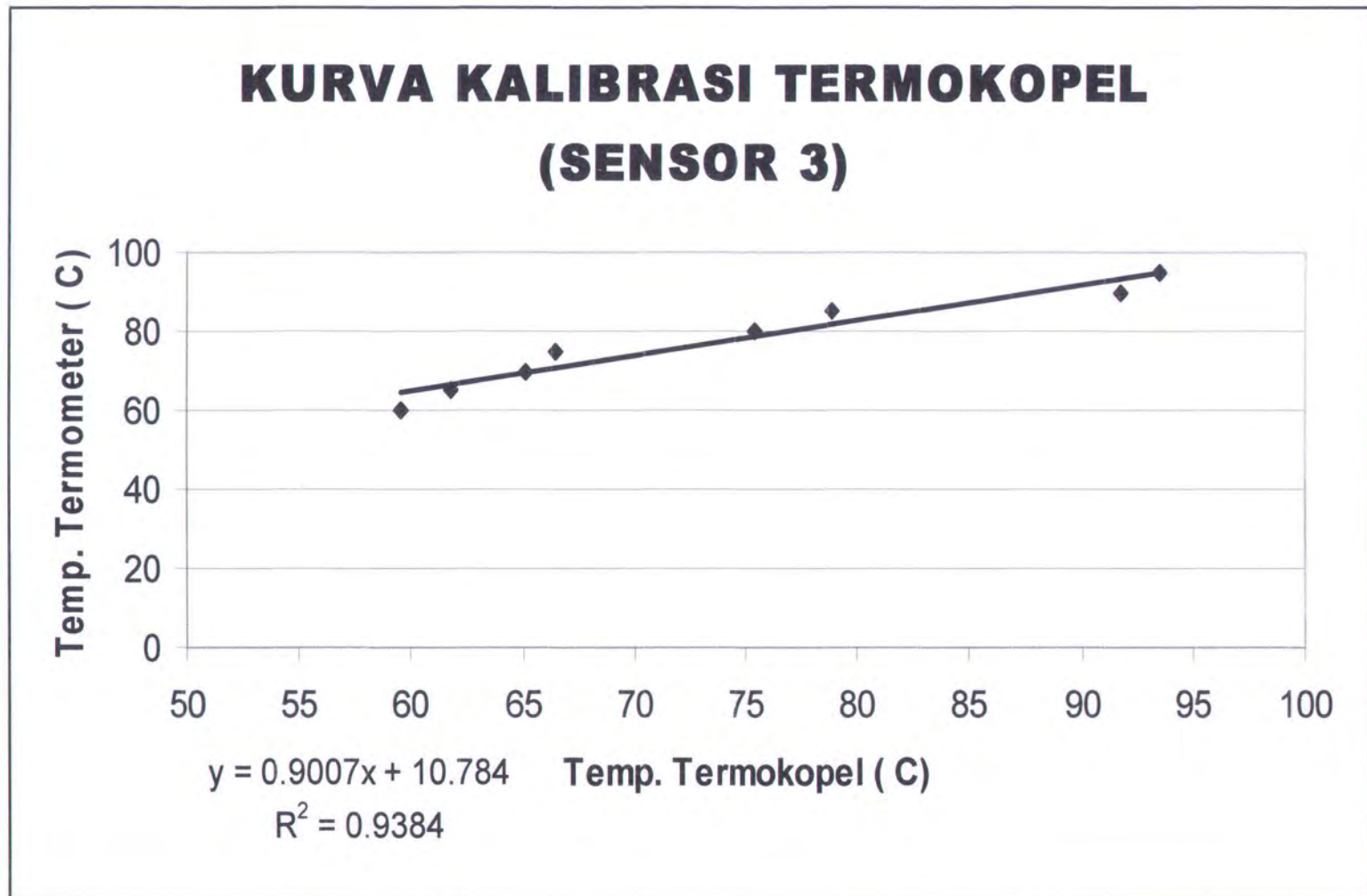
Lampiran 11 Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 1).



Lampiran 12 Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 2).



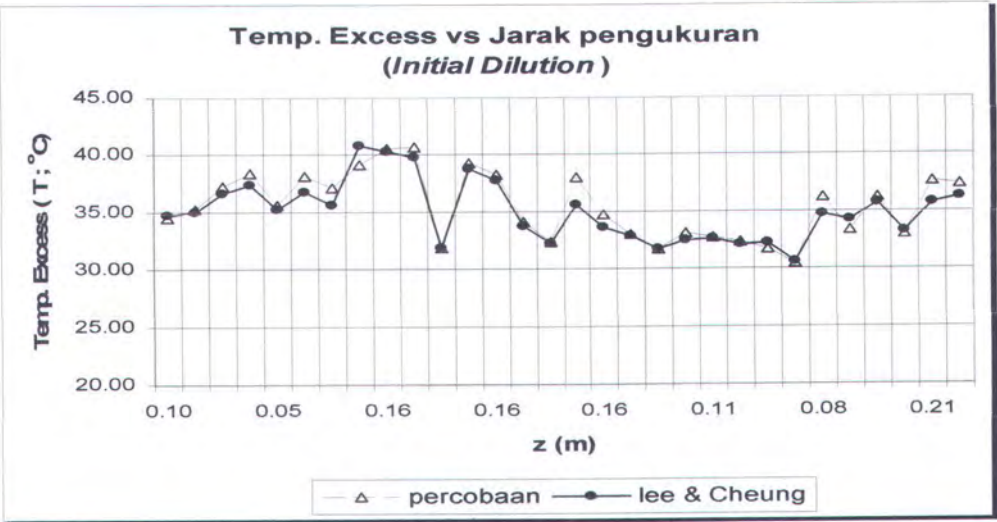
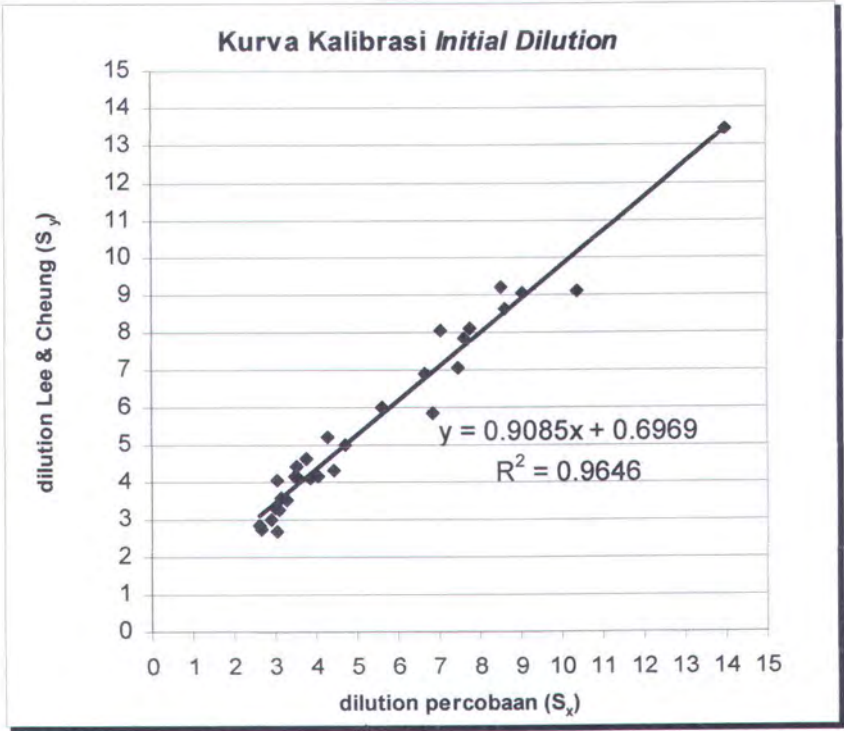
Lampiran 13 Kurva Kalibrasi Termokopel (Sensor 3).



Lampiran 14 Data hasil kalibrasi percobaan *ocean outfall* di laboratorium

Run No	Discharge Temperature (°C)	z (m)	Temperatur Excess (T) Lee & Cheung (°C)	Temperatur Excess (T) perc. (°C)	Dilusi Percobaan	Dilusi Lee & Cheung	Perbedaan (%)
1	56,3	0,096	34,7	34,51	4,451	4,323	2,96
2	56,5	0,051	35	35,20	4,043	4,162	2,86
3	58	0,052	36,6	37,30	3,275	3,548	7,69
4	58,8	0,049	37,4	38,40	3,000	3,326	9,80
5	56,8	0,051	35,2	35,60	3,865	4,086	5,41
6	59,1	0,049	36,8	38,10	3,121	3,593	13,14
7	59	0,048	35,6	37,10	3,461	4,162	16,84
8	61,8	0,155	40,8	39,15	3,067	2,667	15,00
9	61,2	0,155	40,2	40,54	2,675	2,750	2,73
10	60,9	0,155	39,8	40,61	2,635	2,819	6,53
11	61,6	0,130	31,9	31,90	9,027	9,027	0,00
12	60,1	0,155	38,8	39,20	2,900	3,009	3,62
13	59,3	0,155	37,8	38,20	3,110	3,240	4,01
14	61,3	0,140	33,7	34,10	5,610	6,018	6,78
15	60,4	0,146	32,3	32,44	7,600	7,854	3,23
16	58,2	0,155	35,6	37,97	3,071	4,054	24,25
17	56,3	0,155	33,6	34,75	4,290	5,204	17,56
18	60,5	0,044	32,9	33,03	6,685	6,872	2,72
19	58,4	0,147	31,7	31,71	8,612	8,629	0,20
20	62,8	0,103	32,5	33,10	7,061	8,047	12,25
21	63,8	0,105	32,6	32,79	7,754	8,091	4,17
22	64,1	0,098	32,1	32,41	8,537	9,205	7,26
23	64,6	0,080	32,2	31,70	10,400	9,100	14,29
24	60,4	0,073	30,6	30,50	14,019	13,417	4,49
25	58,4	0,084	34,7	36,20	3,775	4,646	18,75
26	63,9	0,104	34,3	33,40	6,865	5,852	17,31
27	66,2	0,103	35,8	36,26	4,716	5,000	5,68
28	64,2	0,105	33,3	33,00	7,500	7,059	6,25
29	61,4	0,206	35,7	37,60	3,532	4,427	20,22
30	60,9	0,134	36,2	37,40	3,554	4,088	13,06

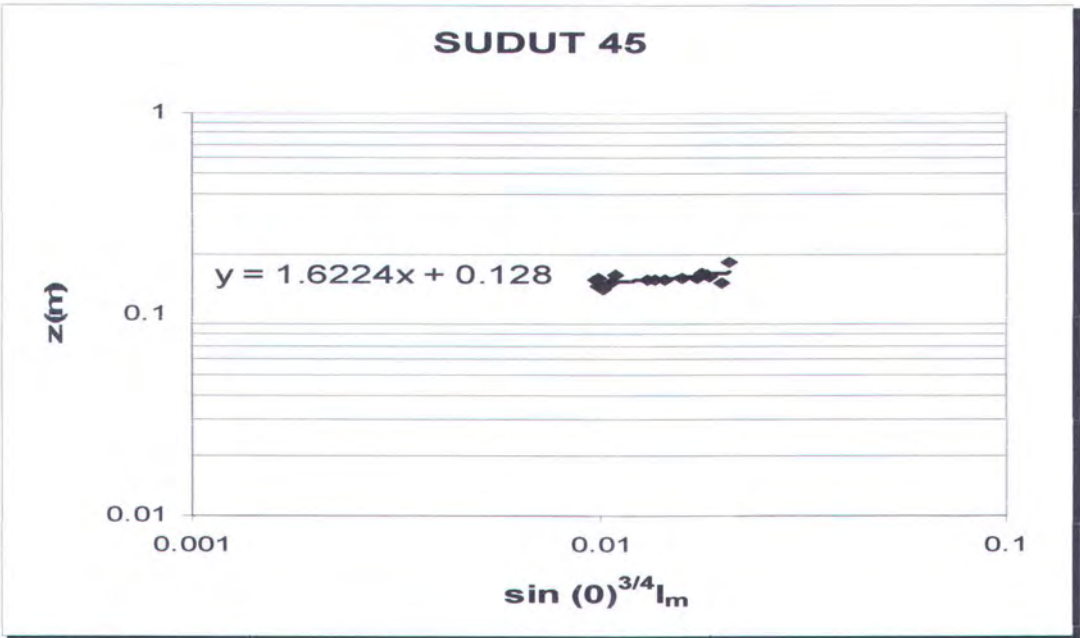
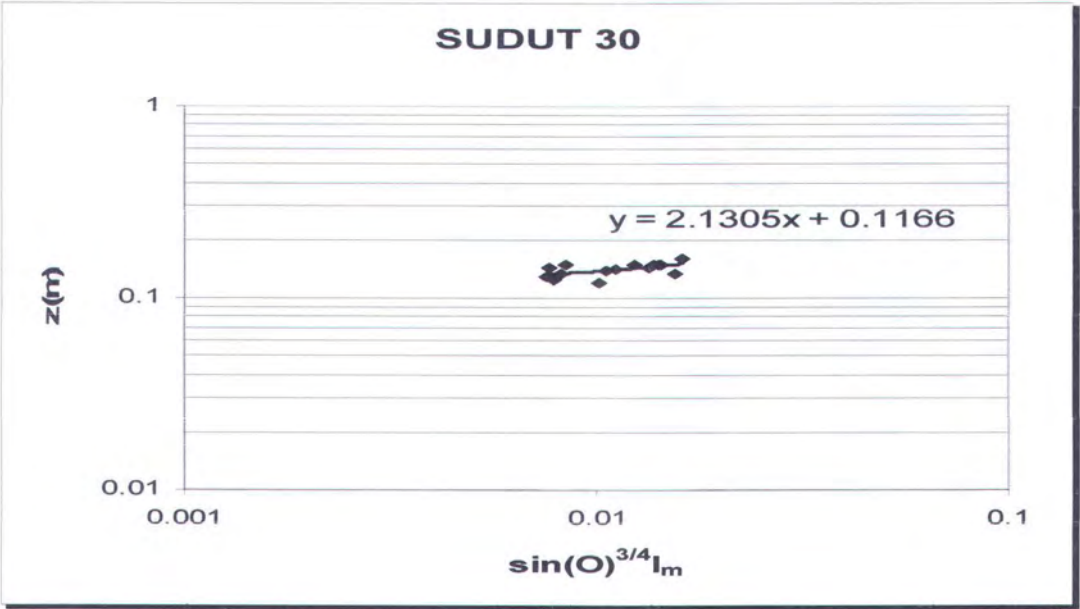
Lampiran 15 Kurva kalibrasi *initial dilution* percobaan dengan model Lee & Cheung



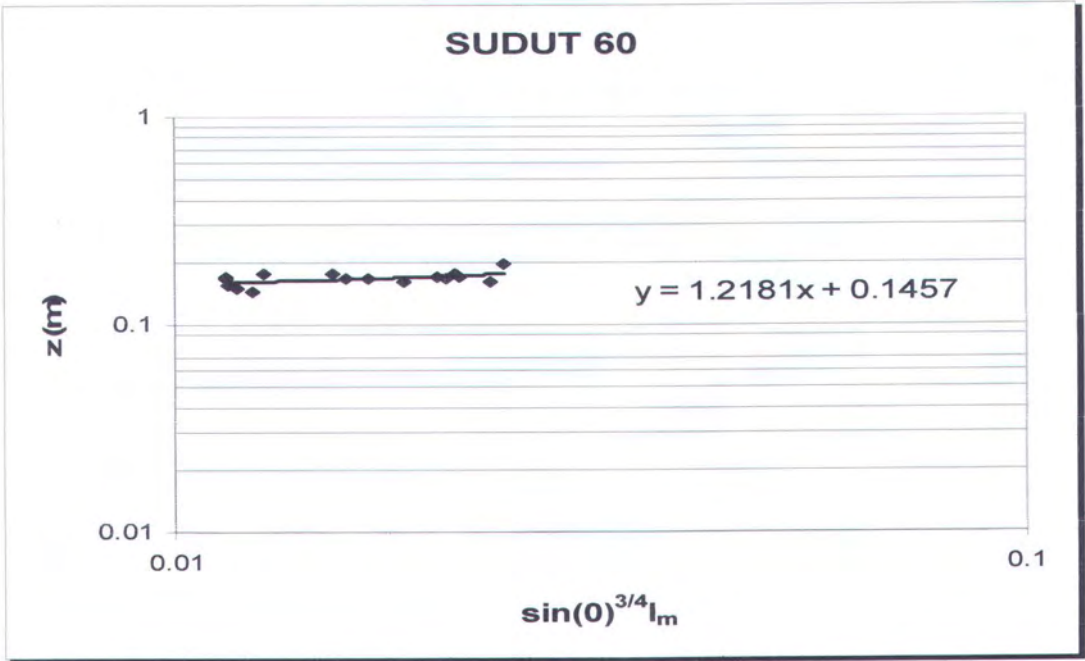
Lampiran 16 Data parameter kestabilan *discharge* hasil percobaan.

Run No	Ambient velocity Ua (m/s)	Discharge Temperature (°C)	Perbedaan Densitas Relatif ; $(\rho_a - \rho_o) / \rho_o$	Fo	H/DFo
1	0,0027	56,3	0,012	1,818	444,817
2	0,0052	56,5	0,012	1,809	231,906
3	0,0052	55,6	0,012	1,953	227,630
4	0,0079	58	0,013	1,815	157,226
5	0,0097	55	0,012	1,863	120,476
6	0,0028	58,8	0,014	2,012	450,340
7	0,0032	59,1	0,014	3,283	396,236
8	0,0115	59	0,014	3,375	110,054
9	0,0175	55,6	0,012	3,619	67,639
10	0,003	60,9	0,020	3,204	505,997
11	0,0037	60,5	0,019	3,694	408,161
12	0,0057	60,1	0,019	2,939	263,571
13	0,0069	59,3	0,014	2,665	184,435
14	0,0098	58,2	0,013	2,504	127,227
15	0,0119	56,3	0,012	2,417	100,925
16	0,0138	57,8	0,013	1,972	89,661
17	0,0051	60,5	0,019	3,411	296,117
18	0,0169	58,4	0,013	1,849	74,056
19	0,0223	64,6	0,021	3,403	71,225
20	0,0233	61,4	0,020	2,720	65,566
21	0,0234	60,4	0,019	2,141	64,455
22	0,0262	60,4	0,019	2,112	57,566
23	0,0298	59,9	0,014	2,155	43,169
24	0,0336	58,4	0,013	2,102	37,249
25	0,0266	50,6	0,009	2,885	3,535
26	0,0162	64,2	0,021	3,852	97,584

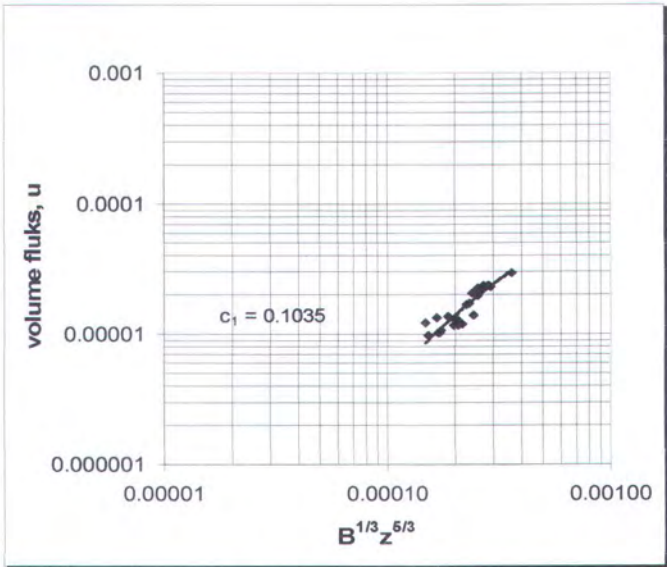
Lampiran 17 Grafik hubungan antara sudut *port* terhadap elevasi
kenaikan *plume* (z).



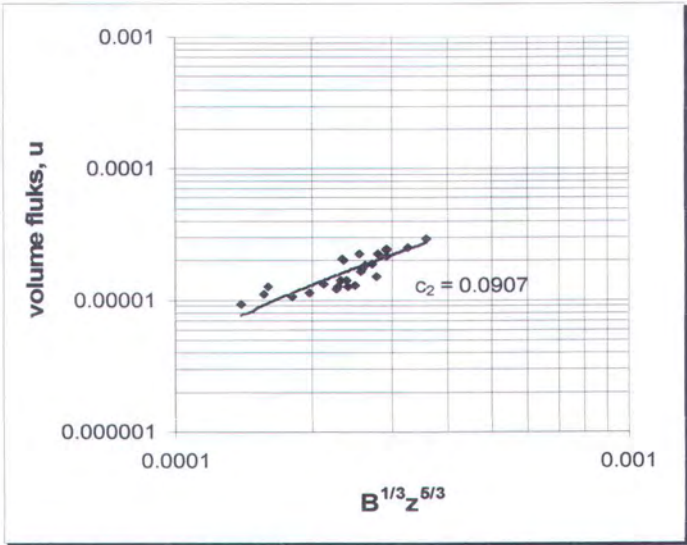
SUDUT 60



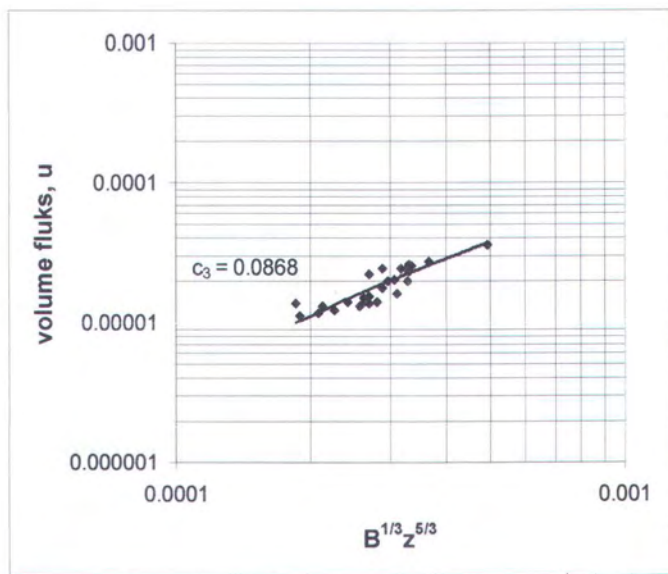
Lampiran 18 Grafik volume fluks fungsi *buoyancy* (*B*) dan kedalaman *discharge* (*z*).



Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3} z^{5/3}$ untuk sudut 30° .

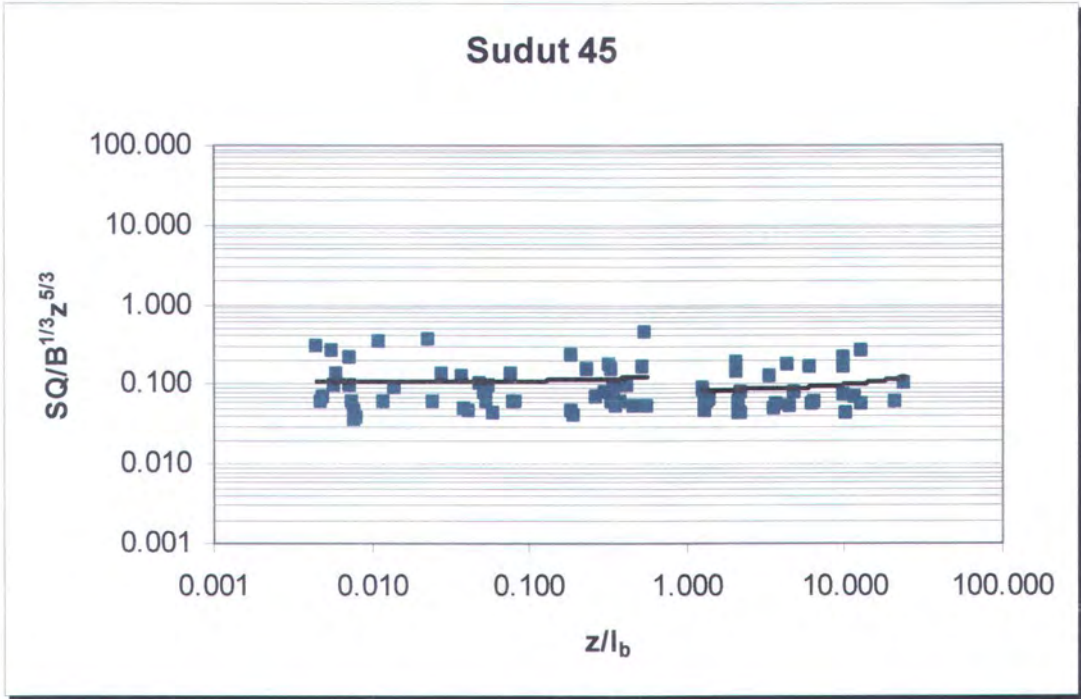
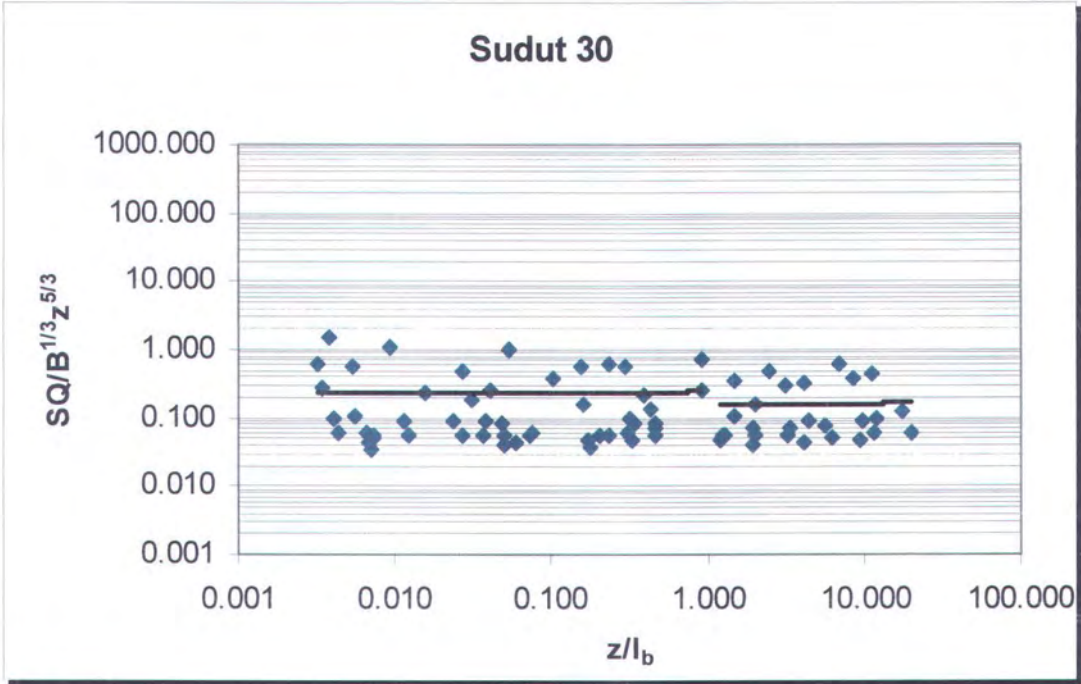


Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3} z^{5/3}$ untuk sudut 45° .

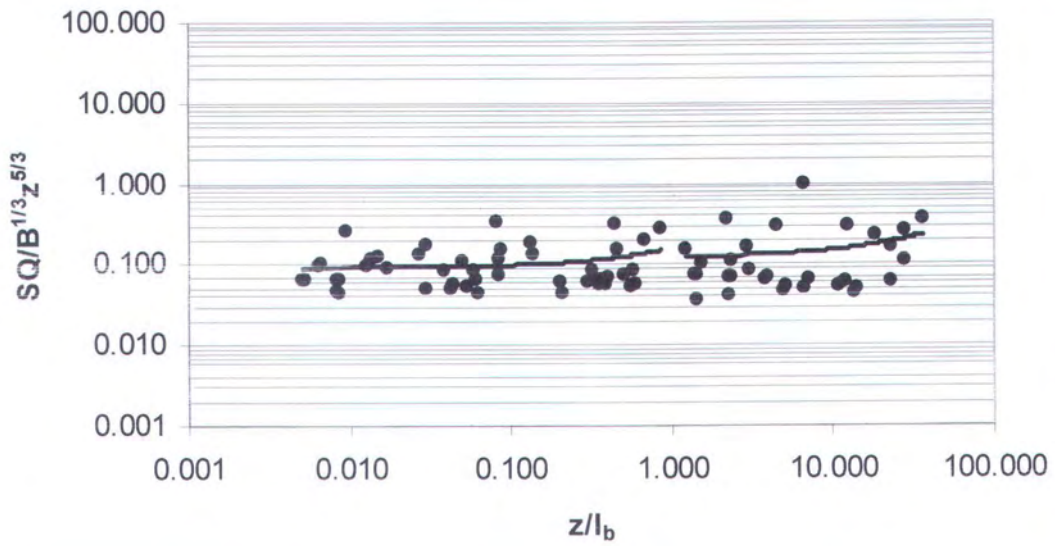


Grafik volume fluks (μ) vs $B^{1/3} z^{5/3}$ untuk sudut 60° .

Lampiran 19 Grafik $SQ/B^{1/3} z^{5/3}$ vs z/l_b pada sudut 30° , 45° dan 60° .

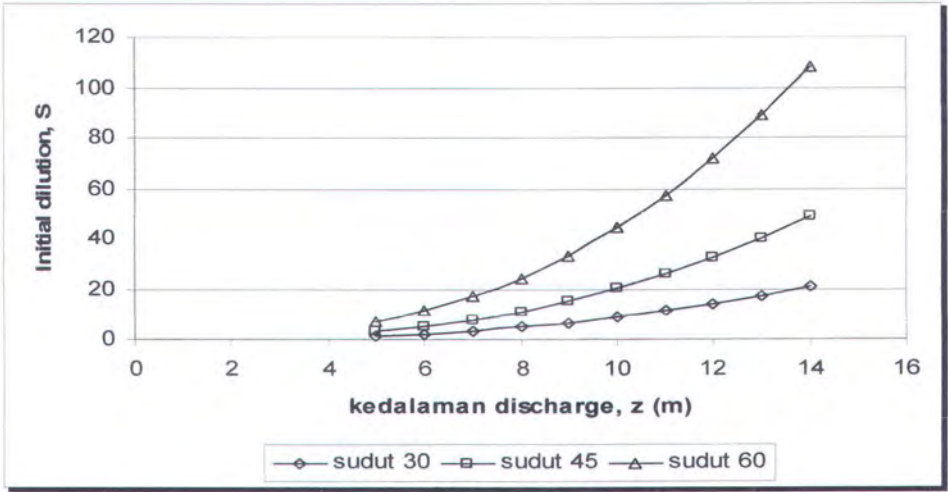


Sudut 60






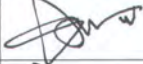

Lampiran 20 Aplikasi hubungan *Initial dilution* dari variasi sudut port pada kasus Terra Nova FPSO platform.

Skenario	z (m) D (m)	S ($\theta = 30^\circ$)	S ($\theta = 45^\circ$)	S ($\theta = 60^\circ$)
1	5 (0,483)	1,36	3,15	6,95
2	6 (0,483)	2,21	5,12	11,30
3	7 (0,483)	3,34	7,73	17,05
4	8 (0,483)	4,77	11,03	24,34
5	9 (0,483)	6,52	15,10	33,32
6	10 (0,483)	8,64	20,00	44,13
7	11 (0,483)	11,14	25,79	56,90
8	12 (0,483)	14,05	32,53	71,76
9	13 (0,483)	17,39	40,27	88,84
10	14 (0,483)	21,19	49,07	108,25



**LEMBAR KEMAJUAN DAN ASISTENSI
TUGAS AKHIR
TH : 2004/2005**

Nama : Estu Prasetyo Pribadi
NRP : 4300.100.006
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Mukhtasor, MEng
2. Dr. Ir. Haryo D Armono, MSc

No.	Tanggal	KETERANGAN	Tanda Tangan
1.	26 Nop. 2004	Pelajari kembali tentang alat yg digunakan sehingga menggunakan flame tank !!!	
2.	26 Nop. 2004	Buat laporan anggaran untuk biaya percobaan !!!	
3.	7 Maret '05	Perbaiki gambar dan tabel untuk analisa	
4.	16 Mei '05	Perbaiki laporan + persiapkan seminar	
5	19 Juli 05	Perbaiki Abstrak	

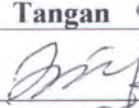
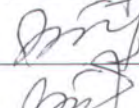
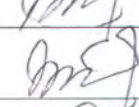
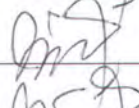
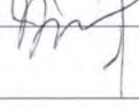


Surabaya, 20 Oktober 2004
Dosen Pembimbing II



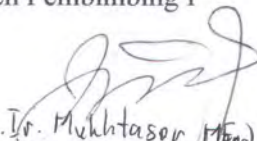
(Dr. Ir. Haryo D. A. MSc)
NIP: 132 133 973

LEMBAR KEMAJUAN DAN ASISTENSI
TUGAS AKHIR
TH : 2004/2005

Nama : Estu Prasetyo Pribadi
 NRP : 4300.100.006
 Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Mukhtasor, MEng
 2. Dr. Ir. Haryo D Armono, MSc

No.	Tanggal	KETERANGAN	Tanda Tangan
1.	2 Sept. 2004	Cari referensi jurnal "A new approach initial dilution"	
2.	9 Sept. 2004	Cari alat untuk mendeteksi perbedaan suhu / transducer temperatur !!	
3.	16. Sep 2004	Mempelajari tentang initial dilution, baca "Water Quality and it's control" !!	
4.	14 Okt. 2004	Buat proposal untuk P1 + draft presentasi	
5.	11 Nop 2004	Pelajari prosedur penelitian dilusi outfall oleh Lee & Cheung !!	
6.	25 Nop 2004	Bandingkan data hasil percobaan dengan menggunakan CORNIX-Gi 4.3E !!!	
7.	11 April 2005	Perbaiki laporan Bab I, II, III ..	
8.	25 April '05	Pelajari pengaruh sudut port dan bandingkan dengan port vertikal.	
9.	16 Mei '05	Persiapkan laporan, analisa data .. Buat slide untuk seminar	

Surabaya, 20 Oktober 2004
 Dosen Pembimbing I


 (Dr. Ir. Mukhtasor, MEng)
 NIP : 132 105 583

